



華夏英才基金學術文庫

刘祥官 刘 芳 著

# 高炉炼铁过程优化 与智能控制系统



冶金工业出版社

[www.cnmp.com](http://www.cnmp.com)

• 责任编辑：赵培德

• 封面设计：黄华斌 立 仍

ISBN 7-5024-3222-1



9 787502 432225 >

ISBN 7-5024-3222-1

TP · 451 定价28.00元





华夏英才基金学术文库

# 高炉炼铁过程优化 与智能控制系统

刘祥官 刘 芳 著

北 京

冶金工业出版社

2003

## 内 容 简 介

全书分为上下两篇。上篇为开发篇,论述了建立“炼铁优化专家系统”的工艺原理,数学模型的复杂性与多目标优化及其在济钢、莱钢、新临钢和杭钢高炉上应用的效果;下篇为应用篇,详细介绍了“炼铁优化专家系统”主要软件功能模块及其在线操作使用,实现优化、智能化操作的途径。

本书适用于计算机、自动化与数学模型专业人员以及高炉炼铁生产、科研与管理人员使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

高炉炼铁过程优化与智能控制系统/刘祥官等著.

—北京:冶金工业出版社,2003.4

ISBN 7-5024-3222-1

I. 高… II. 刘… III. ①高炉炼铁—过程—最佳  
化②高炉炼铁—智能控制—控制系统 IV. TF53-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 010409 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

责任编辑 赵培德 美术编辑 黄华斌 立 仍 责任校对 符燕蓉 责任印制 牛晓波

北京鑫正大印刷有限公司印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2003 年 4 月第 1 版,2003 年 4 月第 1 次印刷

720mm×1000mm 1/32; 18.25 印张; 354 千字; 270 页; 1-2500 册

28.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

## 序 言

党的十六大决定我国要走新型工业化道路,我理解这需要加快应用信息技术改造传统产业的信息化进程。最近几年,全国各工业企业广泛而深刻的试验工作证明,各类生产与管理过程的广义“专家系统”(ES)的开发与应用,驾驭着计算机局域网,可以大大提升企业生产与管理过程的信息化、自动化与系统最优化的水平。这给企业带来了显著的经济效益。

本书所阐述的高炉过程优化与智能控制系统,正是这样一类具有显著新型工业化特征的“高炉专家系统”。作者和他的开发团队通过与杭钢、济钢、新临钢、莱钢等钢铁企业合作试验,在企业有远见的领导者的支持帮助下,走产、学、研结合之路,经过多年努力,终于开发应用成功“高炉炼铁优化专家系统”。该项目被纳入国家科技部“国家级科技成果重点推广计划”项目,并且在推广应用中又多次更新换代软件版本,进一步完善提高为“智能控制专家系统”。他们在多家钢铁公司炼铁厂的多座不同容积高炉上的应用均取得了改善技术经济指标的显著成效。特别是在济钢 350m<sup>3</sup> 高炉与莱钢 750m<sup>3</sup> 高炉这两座有代表性的高炉中,应用“专家系统”不仅实现了“优质、低耗、高产、长寿”的多目标优化,显著改善了指标,而且与本企业其他同类高炉相比,指标更先进,显示出更优的实力。

我和徐炬良、刘云彩、奚兆元曾在新中国建国初期的旧高炉上工作过,以后又经历了炼铁工业的机械化、自动化改造历程,现在欣喜地看到计算机与信息化给高炉操作带来的先进生产力。我们也曾经在 1999 年的《中国冶金报》和《炼铁》杂志上撰文郑重予以推荐,称本系统为“高炉操作的第三代技术”。在本书出版的时候,我们向更多的炼铁工作者推荐本书及其“智能控制专家系统”技术。

在 20 世纪八九十年代,从改革开放之初,我就一直主张中国工业技术应走引进、消化、国产化、创新之路,并且相信以中国人的聪明才智,将来会走在世界的前列,并曾经十几次撰文阐述这个观点。经过 20 多年

的历练,我们欣喜地看到我国电业实现了创新目标,成为全球最大的出口国。

钢铁工业技术是党和国家历来重视的重点,几十年来成就了诸多技术专家,高炉冶炼指标走在世界的前列。在进入信息时代时,我们晚走了一步,不得已才从日本、芬兰引进了“专家系统”。从此,各方面大力参与创新工作,现也开花结果,本书阐述的“炼铁优化专家系统”就是拥有我国自主知识产权的技术。它是根据我国钢铁企业高炉生产实际开发应用成功的“专家系统”,是在我国炼铁专家的工艺理论与实践指导下开发成功的“专家系统”。贴近我国实际是有别于引进技术的特点。这是按照我国科学家钱学森、华罗庚等阐述的系统工程与优选统筹理论,在炼铁工艺-计算机-自动化-信息技术-数学模型多学科交叉基础上开发成功的“专家系统”。这一点更是同引进技术不同的先进之点。2002年6月,包括炼铁专家、自动化、计算机和数学模型领域的院士、教授对“莱钢750m<sup>3</sup>高炉智能控制系统”进行了技术鉴定。鉴定意见认为:所建立的智能控制模型具有创新性,实现了在信息化与工艺参数系统优化基础上的炉温控制智能化。对于实现炼铁过程的多目标优化具有重要的实用价值,并且拥有我国自主知识产权。”“经过莱钢750m<sup>3</sup>高炉生产实践应用,在同等条件下,提高了利用系数,降低了焦比,取得了显著的技术经济效益。”“项目整体水平即‘高炉智能控制专家系统’达到国际先进水平,其中按照控制论寻求最佳状态下智能控制模型的研究达到国际领先水平。”“项目设计的指导思想是立足于国内高炉的现有条件,它的成功为我国中型以上高炉的信息化技术改造,实现低成本高效益提供了示范。可在大中型高炉上推广,较之引进技术更适用于中国高炉。”当时,我们曾到莱钢高炉进行考察分析,完全同意这些鉴定意见。现在细读本书,认为“开发篇”与“应用篇”中的理论创新与应用创新,对炼铁工作者和计算机、自动化专业人员以及数学模型研究开发人员具有十分重要的研究参考价值和使用价值。

我国已经是世界第一钢铁大国,2002年钢铁产量达到1亿7千多万吨。但是,我们还不是钢铁强国。许多高、精的钢铁产品和技术还需要引进,“高炉专家系统”、ERP等软件还在引进。钢铁大国与强国的差距实质上是知识产权的差距。知识的差距引发技术与产品的差距。我们应当鼓励科技人员在先进理论与实践基础上、在多学科交叉中大力创

新,与时俱进地开发国产的“专家系统”软件。本书第一作者是浙江大学数学系教授,是华罗庚先生的学生,专攻运筹学与控制论。他拜炼铁专家为师,多年坚持不懈深入地研究炼铁工艺,终于创新地开发、应用成功“高炉智能控制专家系统”。这种锲而不舍的科学研究精神应当大力提倡,国产的“高炉专家系统”应当更好地推广应用。

原冶金工业部副部长兼总工程师  
中国钢铁工业协会信息与自动化推进中心顾问

周传典

2003 年元月

## 序 言 二

浙江大学数学系运筹学与控制论博士生导师刘祥官教授和他的研究团队以数学为桥梁,链接了炼铁工艺技术与计算机技术、自动化技术、信息技术,长期对高炉炼铁工艺进行了过程优化与智能控制的研究,成功开发了“高炉炼铁优化专家系统”,为我们提供了一个多学科交叉应用于工程实践的成功范例,取得了拥有自主知识产权的研究成果,并且转化为生产力。其成功不仅仅在于过程的系统优化给生产工艺带来巨大的经济效益,而且使十分复杂的生产工艺在高技术层次上重新构造了智能化的工作流程,显著减轻了操作者的劳动强度,有效提高了生产效率。这部著作是他们长期研究的成果。特别令人注目的是:本书阐述的炼铁工艺参数的系统优化技术是国外引进的“高炉专家系统”中所没有的技术。

数学的灵活应用和融会研究是本书重要的创新特点。关于数学与高新技术的深刻关系,曾任美国总统尼克松的科学顾问,后来担任了EED公司总裁的 Edward E. David Jr. 在 20 世纪 80 年代曾撰文指出:“‘高技术’的出现把我们的社会推进到数学工程技术的时代。在这个时代里,数学与工程技术以新的方式相互作用着。50 年前,数学虽然也直接为工程技术提供一些工具,但基本方式是间接的:先促进其他科学的发展,再由这些科学提供工程原理和设计的基础。现在不一样了,数学与工程技术之间在更广阔的范围内和更深刻的程度上,直接地相互作用着,极大地推动着数学和工程科学的发展,也极大地推动着工程技术的发展。”<sup>①</sup>

我国著名科学家钱学森在 1989 年也曾指出:“数学的发展关系到整个科学技术的发展,而科学技术是第一生产力,所以数学的发展是一件国家大事。”“……这是数学技术,即怎样给出一个方法,能使科学的理论

---

① 见:David E. Toward renewing a threatened resource: findings and recommendations of the Ad Hoc Committee on Resources for the Mathematical Sciences. Notices of the AMS, 1984;31(2):141-145

通过电子计算机解答具体的科学技术问题。”<sup>①</sup>

这些名家的论断可以帮助我们理解和重视本书的特点。本书根据“炼铁工艺目标”与“操作方针”创新建立的多目标优化变分模型及其变频统计算法,所建立的炉温智能控制偏微分方程及其神经网络算法都显示了应用数学的精深及其发展的无限空间。

本书所阐述的计算机应用技术的特点在于使计算机软件的层次与网状结构巧妙对应于炼铁工艺过程的多工序合成控制。数据库层、程序层与界面层的 DNA (Distribute Network Application) 三重结构对“专家系统”软件在不同高炉上的应用赋予了灵活性与适应性。

高炉炼铁过程的高度复杂性使得高炉炼铁自动化成为一个跨世纪的技术难题。本书将高炉过程自动化的探讨,引入智能控制自动化的范畴,并从经典控制论、现代控制论和智能控制论三个层次来研究解决高炉过程自动化难题。高炉过程的基础自动化-高炉工艺的信息网络化-高炉信息的处理智能化构成了高炉过程控制自动化智能化的一个完整系统。

我们的国家正在经历着应用信息技术改造传统产业,实现跨越式发展的新型工业化进程。本书阐述的“高炉炼铁优化专家系统”正是这一进程中的一项高技术成果。可以预见,在新型工业化进程中各类复杂工艺流程的智能化系统将会更多地开发出来,并应用到生产中取得更好的经济效益。从数学技术角度看,本书对其他工艺“专家系统”的开发与过程的系统优化都有一定的参考价值。同时也为数学工作者参与新型工业化的进程提供了有益的借鉴。

中国工程院院士  
浙江大学校长

潘云鹤

2003年2月22日

① 见:钱学森,发展我国的数学科学——在中国数学会召开的数学教育与科研座谈会上的讲话,数学进展,1990;19(2):129-135

注:潘云鹤是中国工程院院士,浙江大学校长,计算机系教授。

# 前言

《高炉炼铁过程优化与智能控制系统》一书在华夏英才基金会的资助下,经过作者和出版者的共同努力,终于和读者见面了。在对华夏英才基金会和冶金工业出版社表示衷心感谢的同时,作者借此机会向读者倾吐作为探索者的心声。

本书是一本探讨利用计算机技术提高传统工艺过程控制水平的难题——高炉炼铁自动化的专著,本书当然应该献给 21 世纪的炼铁工作者。本书也是一部从多学科角度探索高炉炼铁过程自动化的控制理论与实践的著作,因此,同时将它也献给从事计算机、自动化技术与应用和研究数学模型的工作者。没有这些学科与炼铁工艺技术的有机结合,炼铁过程自动化就无法取得突破性进展。在当前我国大规模进行的利用“信息技术改造传统产业,实现跨越式发展”的科技进步大潮中,计算机技术、自动化技术和信息技术、数学模型技术更加深入地应用于炼铁生产工艺,形成信息网络化的炼铁工艺流程,以求进一步改善高炉的技术经济指标。高炉炼铁工艺应用“专家系统”已经成为技术进步的趋势。

读者从本书的两篇序言中可以体会到:本书的诞生凝聚着两代人的心血,离不开多学科专家的热心指导和作者多年锲而不舍的努力。周传典教授从炼铁专家角度评述本书,潘云鹤院士从计算机专家角度评述本书。作者对两位专家的推荐深表感谢,他们是以创新的观念推荐具有我国自主知识产权的“高炉炼铁优化专家系统”。本书的创新研究思路来源于我国老一辈炼铁专家的理论,来源于我国老一辈数学家的理论,并且经过了我国钢铁企业的实践检验。没有根据生产实践需求的不断修改和提高,本书就不能够做到今天这样理论与实践的密切结合。本书所阐述的理论、研究开发的技术以及实践应用的总结,包含了浙江省科技进步一等奖、二等奖、冶金科学技术奖二等奖、山东省科技进步三等奖等多项奖励成果,相关成果已经纳入国家科技部“国家级科技成果重点推广计划”。在老一辈炼铁专家和有远见的企业领导人辛勤指导和大力支持下,这些成果在为企业结下经济效益硕果的同时,也将在实践中不断地吸纳其他学科的先进技术而不断完善提高。只要高炉炼铁过程智能控制闭环自动化尚未真正实现,本书阐述的理论实践中的研究与创新就



仍然需要继续深入。

本书凝聚着作者和他们团队的研究成果。这个团队的后面是我国炼铁界一批老一輩专家的支持,在此特别要感谢周传典、杜鹤桂、徐矩良、刘云彩、奚兆元等炼铁专家的指导帮助。同时,还要感谢一批企业曾经为本书的理论与实践探索,直至建成国产的“高炉专家系统”所提供的支持和帮助,尤其是杭钢、济钢、莱钢、新临钢以及攀钢、南钢、韶钢、新疆八钢等企业有关领导的支持。在“高炉炼铁优化专家系统”的开发与形成过程中,许多第一线的炼铁工作者和自动化工作者为本书中典型案例的诞生倾注了自己的心血,这里要特别感谢蔡漳平、刘元和、高贤成、林宪、孙红军、李孔安、沈永耀、任浩、罗登武、王子金、吴晓峰、卜敏、郝子峰、戚大波、法泉营、张国营、舒捷才、王淑珍、宁玉廷、吕宝栓、周生琦、孔祥胜、王红章、袁万能等人在国产“高炉专家系统”的应用与完善进程中提供的合作和帮助。

本书上篇为开发篇,6章内容包括对炼铁过程优化的工艺原理与数学原理的探讨;下篇为应用篇,8章内容既有炼铁工艺原理与模型算法,也有“专家系统”软件的在线操作与应用步骤。作者分工为:上篇全部和下篇中包含炼铁工艺内容的4章由刘祥官教授完成;下篇中有关计算机操作与使用步骤的第1、2、5、7章以及全书的150多幅计算机界面图制作由刘芳工程师完成。在本书的写作过程中以及相关的“专家系统”软件开发、使用说明书与技术说明书的编写过程中,蒋美华工程师以及李满喜、陆剑锋、黄东庆、叶红彬、俞晓伟、王义康等硕士和郇传厚、李启会等博士也都做了很好的工作,充分发挥了团队的聪明才智。

需要特别说明的是,书中介绍的研究成果涉及作者2002年申报的两项国家发明专利,如有引用,需要授权。

在本书编辑、出版过程中,冶金工业出版社杨传福总编和赵培德编辑投入了许多精力,给予细致的指导和帮助,保证了本书的出版质量,作者在此深表谢意。

最后,作者再次感谢周传典教授、潘云鹤院士和陈希孺院士等多年来所给予的支持、指导和帮助。没有他们的长期支持和鼓励,这样的一部著作是难以完成的。

作 者

2003年3月

## 上篇 开发篇

<b>1 高炉过程自动化概论</b> .....	3
1.1 跨世纪的技术难题——高炉炼铁过程自动化 .....	3
1.1.1 冶金科技发展的前沿课题 .....	3
1.1.2 自动化科学与技术的学科难题 .....	3
1.1.3 从基础自动化发展到信息化 .....	5
1.1.4 从“专家系统”迈向“智能控制自动化” .....	5
1.1.5 从中国高炉炼铁实际出发,实现高炉炼铁过程智能自动化 .....	6
1.2 国内外高炉自动化进展的简要回顾 .....	7
1.2.1 高炉炼铁的基础自动化 .....	7
1.2.2 国外高炉自动化数学模型的研究进展 .....	8
1.2.3 国内高炉自动化研究中的计算机应用进展 .....	10
1.2.4 国内外高炉“专家系统”的简明对比 .....	13
1.3 高炉过程的系统优化与智能控制自动化 .....	14
1.3.1 应用“专家系统”是炼铁技术发展大趋势 .....	14
1.3.2 基础自动化与信息网络化是实现炼铁过程智能自动化的 硬件基础 .....	15
1.3.3 智能控制自动化的两项重要模型基础 .....	16
<b>2 高炉过程的工艺控制复杂性</b> .....	17
2.1 高炉冶炼进程中工长作业的复杂性与运筹控制 .....	17
2.1.1 炼铁工艺流程的主要组成工序 .....	17
2.1.2 值班工长的炉内作业、炉前作业与作业管理 .....	18
2.1.3 值班工长作业中的智力劳动 .....	19
2.1.4 值班工长对高炉进程的运筹控制 .....	19
2.2 高炉冶炼过程炉况故障状态的复杂性 .....	21
2.2.1 炉况的顺行状态 .....	21
2.2.2 异常炉况的主要种类 .....	22
2.2.3 异常炉况征兆与故障识别的数理逻辑诊断模型 .....	25
2.3 高炉过程控制的基础自动化与信息网络化 .....	27

2.3.1	槽下配料称量子系统的基础自动化 .....	28
2.3.2	卷扬上料布料子系统的基础自动化 .....	28
2.3.3	热风炉燃烧过程与富氧鼓风的基础自动化 .....	29
2.3.4	喷煤子系统的基础自动化 .....	29
2.3.5	炉前出铁出渣的机械化与信息采集 .....	30
2.3.6	化验室、过磅站终端计算机的联网与信息网络化 .....	30
2.4	高炉冶炼过程的控制复杂性 .....	31
2.4.1	控制复杂性的概念 .....	31
2.4.2	炉温控制与温度控制的本质区别 .....	31
2.4.3	炉温控制与炉况控制的交叉与运筹 .....	31
2.4.4	实时控制与预测控制组成的二步目标运筹控制 .....	32
2.4.5	调控优先级与调控 3 要素 .....	32
2.4.6	高炉冶炼过程复杂性的非线性机理探索 .....	33
3	高炉过程自动化的控制理论基础 .....	35
3.1	从传统控制理论到智能控制理论 .....	35
3.1.1	经典控制论的基本问题及其实现的控制 .....	35
3.1.2	现代控制论的基本问题和成就 .....	36
3.1.3	非线性控制系统的“能观性”与“能控性” .....	39
3.2	智能控制理论的发展与应用 .....	39
3.2.1	智能控制论的由来 .....	39
3.2.2	智能控制论的“三元交集” .....	40
3.2.3	智能控制论面临的复杂性 .....	40
3.2.4	高炉“专家系统”面对智能控制论 .....	41
3.3	从自动控制理论基础思考高炉炼铁自动化难题 .....	41
4	高炉过程数学模型的复杂性 .....	43
4.1	高炉冶炼过程的多目标系统优化模型 .....	43
4.1.1	高炉过程的物质流与信息流分析 .....	43
4.1.2	高炉过程参数的层次结构分析 .....	43
4.1.3	高炉过程信息流的数据融合 .....	44
4.1.4	高炉过程参数的滤波分析 .....	46
4.1.5	高炉冶炼过程多目标系统优化模型的建立 .....	47
4.2	高炉过程数学模型的复杂结构 .....	48
4.2.1	关于数学模型技术 .....	48

4.2.2 工艺计算的数量化模型 .....	48
4.2.3 概率统计模型 .....	49
4.2.4 模糊控制模型 .....	49
4.2.5 数理逻辑推断模型 .....	50
4.3 基于时间序列的变频统计与冶炼过程优化控制规律 .....	50
4.3.1 描述复杂工艺系统过程状态的时间序列图 .....	50
4.3.2 高炉冶炼过程的“混沌相似性” .....	51
4.3.3 变频统计方法的数学原理 .....	52
4.3.4 基于四元时间序列图的样本空间模型 .....	52
4.3.5 高炉冶炼过程的优化控制规律 .....	52
4.4 基于平稳时间序列的炉温预测与控制 .....	55
4.4.1 炉温[Si]控制对高炉过程控制的意义 .....	55
4.4.2 考察炉温变动规律的软件仪表——炉温智能控制图 .....	56
4.4.3 炉温预报“命中率”与“成功率”的灵活应用 .....	57
4.5 炉温[Si]的智能控制偏微分方程 .....	58
4.5.1 炉温控制偏微分方程 .....	58
4.5.2 炉温控制方程的多元回归算法的局限性 .....	58
4.5.3 正交试验设计证明工艺经验的正确性与差异性 .....	59
4.5.4 Bellman 动态规划与神经网络算法 .....	59
<b>5 高炉过程的智能控制自动化 .....</b>	<b>61</b>
5.1 高炉过程运筹与控制的两种策略 .....	61
5.1.1 第一类策略:以改善“硬条件”为基础的控制策略 .....	61
5.1.2 第二类策略:基础自动化+信息网络化+系统优化的控制策略 .....	62
5.2 高炉冶炼过程智能控制自动化系统的设计 .....	63
5.2.1 高炉过程的最佳状态与随机最优控制 .....	63
5.2.2 炉况等级判断的自动化 .....	64
5.2.3 炉况故障诊断与报警的自动化 .....	64
5.2.4 信息传送自动化与“专家系统”的三位一体应用 .....	67
5.2.5 高炉冶炼过程的智能控制自动化主流程 .....	67
5.3 智能控制自动化的计算机网络基础 .....	69
5.3.1 “智能控制专家系统”的计算机网络概述 .....	69
5.3.2 铁区的信息传送网络 .....	70
5.3.3 炼铁厂管理决策与技术分析的办公自动化网络 .....	71

5.4 智能控制自动化系统的软件设计 .....	72
5.4.1 三层结构的软件设计 .....	72
5.4.2 软件系统的主要功能模块 .....	73
6 “高炉炼铁优化专家系统”的应用工程与效益 .....	75
6.1 案例 1:“炼铁优化专家系统”在济钢 350m <sup>3</sup> 高炉上的应用 .....	75
6.1.1 概述 .....	75
6.1.2 “炼铁优化专家系统”的设计 .....	76
6.1.3 “炼铁优化专家系统”的特色——软件仪表 .....	77
6.1.4 “炼铁优化专家系统”的应用成效与效益 .....	82
6.1.5 结语 .....	82
6.2 案例 2:“新临钢 380m <sup>3</sup> 高炉优化专家系统”的应用实践 .....	83
6.2.1 概述 .....	83
6.2.2 “专家系统”的构成 .....	83
6.2.3 对冶强的优化 .....	85
6.2.4 炉温[Si]和渣碱度(R)的优化选择 .....	86
6.2.5 对鼓风动能的优化 .....	87
6.2.6 结语 .....	88
6.3 案例 3:“莱钢 1 号 750m <sup>3</sup> 高炉智能控制专家系统” .....	89
6.3.1 概述 .....	89
6.3.2 “智能控制专家系统”的信息网络化基础 .....	89
6.3.3 “智能控制专家系统”的功能设计 .....	91
6.3.4 “智能控制专家系统”的主要功能模块 .....	92
6.3.5 网络版“智能控制专家系统”的应用效益 .....	96
6.3.6 高炉冶炼过程智能控制自动化发展前景 .....	97

## 下篇 应用篇

1 系统概述与数据录入 .....	103
1.1 引言 .....	103
1.2 系统概述 .....	104
1.2.1 【系统】钮的功能子菜单 .....	104
1.2.2 【管理】钮功能展开 .....	105

1.2.3 【视图】 .....	108
1.2.4 【登录】 .....	109
1.2.5 【数据库】 .....	109
1.2.6 【优化】 .....	109
1.2.7 【炉况】 .....	110
1.2.8 【报表】 .....	110
1.2.9 【导航】钮 .....	110
1.3 数据录入的规则与注意事项 .....	110
1.3.1 确认录入数据的有效位置 .....	110
1.3.2 清除旧数据或部分修改旧数据 .....	111
1.3.3 用鼠标或键盘移动光标时的特点 .....	111
1.3.4 用【Tab】键从一个栏目向另一栏目快速移动光标 .....	111
1.3.5 使用快捷数字键,提高数据录入效率 .....	112
1.3.6 输入汉字信息的操作 .....	112
1.4 数据表的通用功能钮 .....	112
1.4.1 【添加】钮 .....	112
1.4.2 【修改】钮 .....	113
1.4.3 【查询】钮 .....	113
1.4.4 【删除】钮 .....	113
1.4.5 【最前】钮 .....	114
1.4.6 【最后】钮 .....	114
1.4.7 【上一条】 .....	114
1.4.8 【下一条】 .....	114
1.5 录入数据的工艺顺序与注意事项 .....	114
1.5.1 数据表输入数据的先后顺序 .....	114
1.5.2 输入、修改数据的前提条件 .....	115
1.5.3 关于录入数据【可能出错】的智能化判断 .....	115
<b>2 数据库与数据表 .....</b>	<b>116</b>
2.1 原燃料数据 .....	116
2.1.1 原料表 .....	116
2.1.2 焦炭表 .....	118
2.1.3 煤粉表 .....	118
2.1.4 炮泥数据表 .....	118
2.1.5 单价表 .....	118

2.2 常规作业数据 .....	119
2.2.1 作业表 .....	119
2.2.2 出铁表 .....	121
2.2.3 炉渣分析表 .....	122
2.2.4 出渣表 .....	123
2.2.5 煤气表 .....	124
2.3 作业变更数据 .....	125
2.3.1 上料布料表(变料表) .....	125
2.3.2 调剂指令表 .....	126
2.3.3 故障记录表 .....	126
2.3.4 炉料采集计算表 .....	126
2.4 专家知识库 .....	128
2.4.1 专家知识规则表 .....	128
2.4.2 调控系数表 .....	129
2.4.3 输入检查提示 .....	129
2.4.4 人工智能库 .....	130
2.5 风口渣口数据 .....	131
2.5.1 喷煤风口表 .....	131
2.5.2 风口更换表 .....	132
2.5.3 风口状态表 .....	133
2.6 温度压力数据 .....	134
2.6.1 本体温度数据 .....	134
2.6.2 炉底温度数据 .....	137
2.6.3 压力数据表 .....	138
2.7 冷却系统数据 .....	138
2.7.1 汽化冷却系统 .....	138
2.7.2 风渣口冷却数据 .....	138
2.8 事务记录 .....	139
2.8.1 值班记录 .....	139
2.8.2 高炉大事记 .....	139
2.8.3 车间文件 .....	140
2.8.4 气象数据 .....	140
2.9 班组考核 .....	140
2.9.1 日炉前指标考核 .....	140
2.9.2 月炉前指标考核 .....	141

2.9.3 班组统计 .....	141
2.9.4 班组综合信息 .....	141
2.10 成本核算 .....	142
2.10.1 日成本 .....	142
2.10.2 月成本 .....	142
2.11 生产统计 .....	143
2.11.1 日统计 .....	143
2.11.2 月统计 .....	144
2.11.3 年统计 .....	144
2.12 基本参数 .....	144
2.12.1 高炉设计参数 .....	144
2.12.2 用户登记表 .....	146
<b>3 过程优化与智能控制 .....</b>	<b>147</b>
3.1 炉温预报 .....	148
3.1.1 炉温发展趋势 .....	148
3.1.2 $[\text{Si}]-[\text{S}]$ 数值预报检验 .....	150
3.1.3 炉温的四元时间序列综合判断 .....	152
3.1.4 炉温的预测控制 .....	153
3.2 配料布料 .....	155
3.2.1 简要原理说明 .....	155
3.2.2 炉料校核单的计算 .....	156
3.2.3 煤气曲线优化 .....	159
3.3 图表监测 .....	159
3.3.1 24小时喷煤速率与喷煤量监测图 .....	160
3.3.2 炉体温度场轴向图 .....	160
3.3.3 炉体温度场径向图 .....	161
3.3.4 炉底侵蚀状态图 .....	162
3.3.5 炉喉十字测温图 .....	163
3.4 优化决策 .....	166
3.4.1 优化决策模型原理 .....	166
3.4.2 系统样本划分 .....	167
3.4.3 系统优化分析表的调阅与打印 .....	169
3.4.4 系统优化分析图总结生产优化规律 .....	170
3.4.5 产量质量优化分析图 .....	174



3.5 冶炼强度的优化 .....	182
3.5.1 变频统计优选 .....	183
3.5.2 等步长统计优选 .....	185
3.6 时间序列分析 .....	187
3.6.1 时间序列分析原理 .....	187
3.6.2 时间序列图的功能与操作 .....	188
3.6.3 原燃料条件时间序列 .....	190
3.6.4 上料制度时间序列 .....	191
3.6.5 送风制度时间序列 .....	192
3.6.6 出渣出铁时间序列 .....	192
3.6.7 炉体温度场时间序列 .....	194
3.7 统计分布分析 .....	196
3.7.1 原燃料条件对比 .....	197
3.7.2 上料制度对比 .....	198
3.7.3 送风制度对比 .....	199
3.7.4 出渣出铁对比 .....	200
3.7.5 炉体温度场对比 .....	200
<b>4 高炉冶炼行程的炉况诊断 .....</b>	<b>203</b>
4.1 炉况诊断的工作原理 .....	203
4.1.1 简要说明 .....	203
4.1.2 炉况诊断模块的操作使用步骤 .....	204
4.2 炉况等级综合判断星形图 .....	204
4.2.1 炉况等级综合判断图工作原理 .....	204
4.2.2 炉况等级星形图的操作与使用 .....	205
4.3 炉况顺行状态诊断 .....	206
4.3.1 关于炉况顺行状态诊断的若干说明 .....	206
4.3.2 炉况顺行状态诊断的操作与判断 .....	206
4.4 炉墙结厚、结瘤与顽固性结瘤诊断 .....	207
4.4.1 炉墙结厚、结瘤与顽固性结瘤逻辑诊断图的原理 .....	207
4.4.2 炉瘤故障逻辑诊断图的操作与使用 .....	208
<b>5 高炉作业管理报表 .....</b>	<b>210</b>
5.1 高炉作业管理的办公自动化 .....	210
5.2 管理报表模块的使用通则 .....	210

5.2.1 选择、预览管理报表 .....	211
5.2.2 退出报表预览及打印报表 .....	211
5.2.3 统计台账的汇总方式与灵活应用 .....	212
5.3 整理记录1的操作使用 .....	212
5.3.1 生铁产量完成情况表 .....	212
5.3.2 主要冶炼指标和生铁成分表 .....	213
5.3.3 炉渣分析及渣量表 .....	213
5.3.4 送风制度调剂情况表 .....	218
5.4 整理记录2的操作使用 .....	219
5.4.1 入炉原燃料成分表 .....	219
5.4.2 高炉原燃料消耗情况表 .....	220
5.4.3 高炉煤气分析表 .....	220
5.5 月统计台账的操作使用 .....	226
5.5.1 月台账1的操作使用 .....	226
5.5.2 月台账2的操作使用 .....	228
5.5.3 月台账3的操作使用 .....	228
5.6 高炉操作日志 .....	230
5.6.1 关于“高炉操作日志”的说明 .....	230
5.6.2 高炉送风作业日报表(高炉送风作业及本体温度日报) .....	231
5.6.3 出铁情况日报表 .....	231
5.6.4 矿石分析日报表 .....	231
5.6.5 炉料配比日报表 .....	231
5.6.6 风口工作状态日报表 .....	236
6 炉温的智能控制 .....	238
6.1 炉温智能控制原理 .....	238
6.1.1 炉温调控的工艺操作经验基础 .....	238
6.1.2 现代控制论与智能控制论原理 .....	239
6.1.3 炉温控制预测的偏微分方程与神经网络算法 .....	240
6.2 炉温智能控制图 .....	241
6.2.1 主要功能钮的使用 .....	242
6.2.2 [Si]-[S]控制预测图的使用 .....	244
6.2.3 状态变量直方图的使用 .....	244
6.2.4 控制变量直方图的使用 .....	245
6.2.5 每30min1次的炉温智能控制提示 .....	245

6.2.6 人机交互的炉温智能控制指示图 .....	245
6.3 炉温智能控制系统图的综合应用 .....	246
6.3.1 [Si]-[S]预测控制图的仿真应用 .....	246
6.3.2 炉温发展过程预测的人机交互验证与自学习 .....	247
6.3.3 提高炉温控制的命中率和成功率 .....	247
7 化验数据输入子系统的使用 .....	248
7.1 系统概述 .....	248
7.1.1 引言 .....	248
7.1.2 启动系统 .....	248
7.2 数据输入 .....	250
7.2.1 功能钮的操作使用 .....	250
7.2.2 化验数据表的数据录入 .....	251
7.3 异常情况的处理 .....	256
7.3.1 死机问题的处理 .....	256
7.3.2 “子系统”瘫痪的处理 .....	256
7.3.3 无法登录“子系统”的处理 .....	257
8 冶炼参数系统优化分析报告与生产优化建议 .....	258
8.1 引言 .....	258
8.2 生产数据的基本统计 .....	258
8.3 应用“智能控制专家系统”进行系统分析 .....	259
8.3.1 系统分析表对3个月生产的总结对比 .....	259
8.3.2 利用系统优化分析图观察、总结高炉的生产优化规律 .....	261
8.3.3 冶炼强度的系统优化 .....	262
8.4 原燃料条件变化下的对策优化 .....	263
8.4.1 烧结矿质量波动的时间序列图 .....	263
8.4.2 两个时间段的烧结矿质量变动统计对比图 .....	263
8.4.3 烧结矿质量变动的统计对比与差异显著性检验 .....	264
8.5 关于用好“智能控制专家系统”的建议 .....	264
8.5.1 关于技术分析与管理决策上的应用 .....	264
8.5.2 关于工长应用“专家系统”的技术培训 .....	265
8.5.3 关于与“专家系统”应用配套的工艺措施 .....	265
参考文献 .....	266

上篇

KAIFAPIAN

开发篇



# 1 高炉过程自动化概论

## 1.1 跨世纪的技术难题——高炉炼铁过程自动化

### 1.1.1 冶金科技发展的前沿课题

在原国家冶金局、中国金属学会和冶金科技发展中心组织制定的 2000~2005 年《冶金科技发展指南》一书中,关于冶金自动化技术和炼铁专业技术的科技进步课题方面,把“高炉过程自动化系统及其数学模型”、“高炉操作优化、智能化”的研究与应用,建立“高炉过程优化控制智能系统”,确定为炼铁学科技术进步的前沿技术。其中既包括建立“炉况判断及操作预测模型;软熔带预测模型;炉热指数预测模型;硅含量预测模型;炉底侵蚀预测模型;无料钟布料判断模型;热风炉燃烧气体流量设定及操作预测模型”等局部性数学模型,也包括“配置适合我国炉况波动大、监测仪表不足等条件下的实用‘专家系统’”以及“生产过程优化决策与科学管理”等方面的研究。在钢铁厂各主要工序的“生产工艺控制智能化”技术开发中,建立“高炉过程优化控制智能系统”列为重要课题之一。

的确,在工业自动化方面,高炉过程自动化是一个跨世纪的技术难题。在 20 世纪下半叶,在世界冶金工业自动化进程中,人们陆续实现了轧钢过程自动化、炼钢过程自动化、连铸过程自动化以及其他工序的自动化控制。然而,30 多年中并没有攻下高炉过程自动化这道难关。人们意识到:高炉过程自动化课题给自动化科学与技术这一学科带来了挑战。

### 1.1.2 自动化科学与技术的学科难题

在国家自然科学基金委员会 1995 年出版的《自动化科学与技术——自然科学学科发展战略调研报告》一书中,把工业自动化、复杂系统的建模与控制、智能自动化三方面课题列为“中近期战略目标、重点方向”的交叉学科分支的共同问题。书中指出:“钢铁、能源、石油化工等连续生产过程往往涉及许多复杂的对象,其中包括最常见的高炉、反应器等。它们的运行机制都尚未弄清,往往带有非线性、分布参数等特征,并有着强烈的随机特性。因此需要探索新的建模和控制的原理和技术,其中不仅包括自适应控制、鲁棒控制、预测控制、容错控制、模糊控制等新控制手段的应用,而且要研究定性建模,以及基于(专家)知识控制等智能化技术的应用。”

引证《冶金科技发展指南》和《自动化科学与技术》两个文献在于说明:高炉过

程优化与智能控制自动化系统的建立,“新的建模和控制的原理和技术”的研究与应用,不仅是自动化学科科技前沿的重点课题,而且也是钢铁冶金产业科技进步的前沿课题。

几十年来,国内外对高炉炼铁过程的自动化控制研究与实践表明:在经典控制论(线性控制系统)和现代控制论(非线性控制系统)的理论范畴内无法解决高炉过程的自动化控制问题。在经过各种探索之后,人们终于认识到:高炉冶炼过程的自动化控制问题需要建立在新的控制思想与控制理论基础上,才能够找到实现高炉过程自动化的途径。

在传统控制理论的指导下,人们不断推进了高炉工艺的基础自动化进程:槽下配料系统的自动化,上料、布料过程(包括无钟布料)的自动化,热风炉燃烧过程的自动化,喷吹煤粉的自动化,炉前出铁的机械化等等。然而,作为高炉冶炼过程自动化控制的核心——炉温 $[Si]$ 的闭环自动化控制却至今尚未实现。

深入剖析高炉工长的作业过程可知:高炉过程的操作控制是以主控室值班工长为指挥中心的智能化的多工序合成控制,是以工长的智能判断为基础的复杂系统的运筹控制;而不是单纯的经典控制论范围的反馈式控制。

高炉冶炼过程自动化控制的复杂性,促使自动化专业人员深入了解炼铁工艺的复杂性。对炼铁工艺模型的复杂性和对过程控制模型复杂性的深入研究,推动了自动控制理论的发展。于是从传统的闭环自动化控制研究,发展到“高炉专家系统”的研究,发展到高炉冶炼过程智能控制理论的建立。它们的成功研究来自高炉生产的第一线,从生产实践中反复认识和把握客观存在的复杂性,从生产实践中找出解决问题的办法。终于建立起实用的智能化的数学模型。这样的成功研究也必然是建立在炼铁工艺技术、信息技术、计算机技术、自动控制技术、数学模型技术这5个学科的多学科技术交叉和有机结合基础之上。高炉炼铁的自动化控制研究进程进入了“专家系统”的蓬勃发展时代。

我国炼铁专家周传典、徐矩良等在“我们郑重推荐高炉操作的第三代技术”一文中这样概括“专家系统”的应用:“这项技术使高炉炼铁从第二代技术的看仪表、抄数据、凭经验的生产方式转变为人机对话,并依靠计算机来优化决策和科学管理的方式,我们称之为第三代技术。”

然而,目前投入高炉炼铁生产应用的各种类型的“专家系统”,在自动控制理论发展阶段上毕竟只是属于智能控制理论初级的应用阶段。自动控制理论从经典控制论研究处理线性系统开始,建立了单变量的闭环自动化控制。发展到现代控制论,人们实现了非线性的多变量的闭环自动化控制。然而,现代控制理论虽然能够解决航天与国防的复杂控制技术问题,却还是不足以解决高炉冶炼过程的自动化控制难题。在当前迅速发展的智能控制论的学科前沿,新的模型和新的算法,如模糊算法、神经网络算法、遗传算法等正在为高炉过程新的控制模型的建立展开了新

的前景。

### 1.1.3 从基础自动化发展到信息化

在当前我国实施以信息技术改造传统产业,“信息化带动工业化,实现跨越式发展”的战略方针中,人们重新认识高炉过程自动化难题解决途径有了新的机遇。

如果说高炉炼铁的“基础自动化”改造,用计算机实现高炉生产各控制子工序的自动化控制是实现高炉冶炼过程自动化控制的基石,那么在今天信息化时代,建立炼铁工艺流程的计算机网络系统,实现炼铁过程的“信息化”,则是实现高炉冶炼过程“智能控制自动化”不可缺少的基石。

在基础自动化改造中,人们用2~3台计算机在高炉主控室替代几十块高炉仪表与模拟盘,实现了高炉冶炼进程工艺参数的集中监控。这毕竟只是高炉应用计算机的初级阶段。

在信息化基础,“专家系统”可以实现冶炼过程的信息与数据资源共享,实现管理部门、技术部门与高炉主控室、各操作岗位在管理决策—技术分析—操作控制上的“三位一体”应用。与基础自动化中的信息集中监控相比,“专家系统”对信息的处理与应用则是更高一级的应用阶段。

在网络化运行的“专家系统”中,厂长可以直接监控高炉工长的实时操作情况,可以对高炉生产进行宏观优化决策;技术科工程师可以在线进行高炉操作优化的技术分析;化验室化验数据在网络上的及时传送,实现了工长操作过程信息预处理和模型计算的自动化;工长在优化站的人机会话界面上看到的信息不再仅仅是原始数据,而是包括经过复杂工艺计算和数学模型处理得到的、对操作控制具有重要指导价值的规律性结论和提示。

信息化为高炉过程的智能控制自动化打下了坚实的基础。

### 1.1.4 从“专家系统”迈向“智能控制自动化”

计算机作为人的智力劳动工具,具有延伸人的智力劳动能力的功能。炼铁过程的基础自动化主要是延伸人的体力劳动能力。计算机集中监控只是提高了工长智力劳动的效率,并没有在工长的智力劳动自动化上发挥应有的作用。

计算机对高炉过程大量的信息,按照“炼铁专家知识”和“判断规则”进行处理,即通过所谓“推理机”推理得出对工艺有指导价值的论断。特别是在设备诊断、炉况诊断上,能够及时提示高炉工长采取措施,消除故障征兆,从而保持高炉炉况的稳定顺行,这正是“高炉专家系统”作用的核心。

“专家系统”的建立,使高炉过程自动化数学模型研究从单纯的数值计算模型研究,发展到逻辑判断与智能推断的模型研究,进入了智能化模型研究阶段。无疑,这是一种本质性的进步。它也使研究者认识到:在高炉过程自动化控制研究中,在建立和运用数量化模型之前,还有一个十分重要的基础性模型需要奠基:这就是排除炉况故障、保障炉况顺行的逻辑型智能化模型。只有在炉况顺行状态下,



数量化控制模型才具有模型稳定性。在炉况异常状态下,几乎所有的数量化计算控制模型都将失效。

然而,“专家系统”在推广应用上遇到了局限性。因为,不同的高炉有不同的装备和原燃料条件,第一线的“专家经验”自然也就各不相同。所建立的“专家系统”的水平发挥也就依赖于不同高炉的专家水平。

但是,“专家系统”提供的“炉况诊断”和“炉温控制指导”,毕竟在计算机替代工长的智力劳动方面前进了一大步。

高炉冶炼过程自动化的终极目的是最大限度地挖掘高炉的生产潜力和减轻值班工长的智力劳动强度、提高控制水平,获得更大的经济效益。在高炉过程的极端复杂性面前,工长个人的操作经验只能有限地追求生产指标的实现。“专家系统”的智能化工作从实现炉况顺行角度帮助了工长,也为改善高炉指标创造了基础。但是,在生产第一线对比工长的作业任务与一般“专家系统”的功能,可以看到,“专家系统”还可以进一步适应工长作业的需要。

从炼铁过程的基础自动化发展到信息化,在高炉主控室配置“优化站”作为实现人机对话的生产工具,计算机能够进一步帮助工长实现高炉冶炼过程的智能控制自动化。从而使计算机成为工长作业离不开的得力生产工具。

#### 1.1.5 从中国高炉炼铁实际出发,实现高炉炼铁过程智能自动化

为提高高炉冶炼技术水平,我国一些钢铁公司引进了国外的“高炉专家系统”。它同时也推进了我国高炉过程自动化的研究。然而,毕竟我国大多数高炉的装备水平与原燃料条件与国外大型高炉存在着很大差距,因此引进的“高炉专家系统”难以消化吸收和推广应用。十多年过去了,实践证明,适用我国多数高炉的“专家系统”要靠我国的炼铁专家与各相关学科的专业人员进行多学科交叉的创新开发,才能够获得成功。并且,正是由于中国高炉条件上的差距和作业过程的特性,给高炉冶炼过程的“专家系统”应用提出了更高的智能化要求,推动着高炉过程“智能控制自动化”的研究。

中国炼铁专家根据我国高炉冶炼特点提出的“优质、低耗、高产、长寿”的炼铁目标和“安全、稳定、均衡、顺行”的操作方针,是开发高炉过程智能控制自动化数学模型的专家知识基石。在基础自动化与信息化条件下,根据炼铁目标和操作方针建立的“多目标优化数值变分模型及其变频数理统计算法”和在 Bellman 动态规划理论基础上建立的“炉温控制偏微分方程与神经网络算法”则是高炉过程智能控制自动化的基本数学模型。这两类数学模型解决了高炉过程“智能控制自动化”的两个核心问题:一是高炉冶炼过程的最佳状态的计算确定问题;二是实现最佳状态的动态优化控制问题。

关于复杂生产流程的自动化控制问题,华罗庚教授在进行工艺流程的“一条龙”优选中曾经总结经验指出:“为要自动化,首先必须最优化。”即要使自动化取得

更好的经济效益,必须对复杂的生产过程进行系统优化,从而确定生产过程的最优控制。作者根据中国炼铁专家的指导,运用我国科学家钱学森、华罗庚等教授倡导的系统工程理论与最优化理论,从国内钢铁厂大多数高炉的装备水平与原燃料条件出发,研究高炉炼铁自动化中具有实际应用价值的数学模型和计算机软件,成功地开发和推广了“高炉炼铁优化专家系统”。本书结合作者在特大型钢铁联合企业的20年生产、科研与管理实践,结合作者在大学8年的教学与理论研究成果,其中包括国家科技进步一等奖和省部级科技进步奖的研究成果,阐述高炉炼铁过程系统建模的若干重要成果。希望通过这些成果的理论总结,能够架设起企业科技人员与大学研究人员在研究解决实际课题方面理论联系实际的桥梁,架设起开拓创新建立拥有我国自主知识产权的高炉过程智能控制自动化系统的桥梁,从多学科角度推进我国高炉炼铁的智能控制自动化。

## 1.2 国内外高炉自动化进展的简要回顾

### 1.2.1 高炉炼铁的基础自动化

在钢铁冶金自动化技术进步中,20世纪80年代就已经实现了轧钢过程的完全自动化控制、炼钢过程的自动化控制以及其他工艺流程的自动化。人们可以使一块钢坯全自动化地轧制成一卷钢材,使1炉铁水自动化地炼出1炉钢。自动控制的高质量与高效率当然也激励着高炉炼铁过程自动化的研究。然而,几十年过去了,人们仍未能完全实现高炉炼铁过程的闭环自动化。

为了实现炼铁生产工艺的自动化目标,人们不断推进着炼铁过程的基础自动化和计算机的应用。在组成炼铁工艺流程的各控制子工序中,已经实现基础自动化的工序有:

- (1) 槽下配料系统的称量与配料过程的计算机自动化控制;
- (2) 卷扬上料系统的上料、布料过程的计算机自动化控制;
- (3) 喷吹煤粉的计算机自动控制;
- (4) 热风炉燃烧过程与送风的计算机自动控制;
- (5) 炉前出铁作业的机械化、自动化;
- (6) 高炉值班室应用PLC或DCS计算机系统取代高炉仪表,实现工艺参数的集中监控。

在传统炼铁工艺中,工长是通过几十块高炉仪表来监控炼铁过程的。它包括高炉本体的数百项温度、压力、流量数据的监测,综合鼓风的风量、风温、风压、风湿、富氧量与富氧压力、喷煤量与喷煤压力等参数的检测控制以及上料过程、布料过程的模拟盘等。高炉值班室应用计算机取代高炉仪表后,实现了高炉本体参数、槽下配料称量系统、卷扬上料布料系统、热风炉系统以及喷煤系统的工艺参数集中监控。多台PC机集中显示各种监控画面、趋势图与模拟图的应用,使计算机仪

表能够更直观、更形象地,更准确、更可靠地反映了高炉过程的动态变化特征。

虽然炼铁工艺的各个控制子工序的基础自动化已经实现,然而人们围绕高炉炉温控制的数学模型开发,试图实现高炉冶炼过程的自动化控制,却至今并没有获得成功。高炉炼铁过程的自动化控制远比各组成工序的自动化控制复杂得多。

高炉炼铁闭环自动化控制是冶金自动化中迄今尚未完全解决的跨世纪的技术难题。

### 1.2.2 国外高炉自动化数学模型的研究进展

国外高炉自动化数学模型的研究阶段实际上是与计算机技术发展水平相适应的。它经历了初期研究,炉热指数模型研究,铁水硅含量[Si]预报模型研究,模型集成研究,开发专家系统和智能控制自动化等几个发展阶段。

从20世纪50年代起,国外就开始研究计算机在高炉炼铁中的应用。其中,前苏联的拉姆配料计算模型,美国内陆钢铁公司的数学模型等都是早期研究成果。法国钢铁研究院从炼铁机理出发提出的 RIST 操作线模型,则进一步解析了炉内化学反应过程的节能降焦潜力所在。

在反映高炉内部热平衡状态的炉热指数模型的建立进程中,比较重要的炉热指数有  $W_u$  指数、 $E_c$  指数和  $T_s$  指数等,以不同的检测数据综合成不同的指数来反映铁水硅含量[Si]的变动特征。

(1)  $W_u$  指数模型是由法国钢铁研究院提出的。它是描述炉内高温区热平衡的炉热指数,是由炉顶煤气成分和生铁成分等数据计算得到的。因此,高炉必须配备炉顶煤气在线自动检测设备。

(2)  $E_c$  指数模型是由比利时冶金研究中心提出的。它是反映高炉实际热收入和标准热需求之差的指数。它通过炉顶煤气成分、风量等可检测参数计算出来,因此也需要炉顶煤气自动检测仪的在线自动检测数据。

(3)  $T_s$  指数模型是日本住友公司首先开发的。它是在机理模型计算的基础上建立的反映风口水平炉料的平均温度与实际铁水温度之间关系的数学模型。从而建立了以控制重油喷吹量来控制铁水温度的局部闭环控制系统。

(4) 在铁水硅含量[Si]预报的数学模型中,建立了各种多元时间序列模型预测炉温的发展,以指导炉温的调控。其中,自回归滑动平均模型(ARMA 模型)作为动态数据系统模型在线应用也很广泛。

(5) 随着智能控制论研究的发展,芬兰罗德洛基公司在20世纪90年代末研究开发了炉温预报的神经网络模型。它构成芬兰“专家系统”的特色。

20世纪70年代以后,随着日本钢铁工业的崛起,日本对高炉过程的计算机应用及其数学模型的研究开发居于国际先进水平。各种炉热指数模型和炉温预测模型应用于日本各大高炉的冶炼过程。随着模型研究的深入,人们很快意识到:以高炉炉温控制为核心的高炉冶炼过程的自动控制,完全不同于传统控制理论范畴的

自动控制。高炉炉温控制不是单纯的反馈控制。于是日本各钢铁厂先后提出了以炼铁专家知识为基础的逻辑判断与数量计算相结合的模式,如:“炉况诊断模型”、“GO-STOP 模型”,操作管理系统“AGOS 模型”等等。于是开始了高炉冶炼过程控制中的人工智能应用研究,明确提出建立高炉冶炼过程的“专家知识与规则”。

在各种各样的高炉数学模型与“专家系统”开发中,具有代表性的应用研究成果有:

(1) 以软融带推断模型为主建立的模型集成系统,简称 SAFAIA 系统,应用在新日铁大分厂 2 号高炉上。它使用 532 个传感器,8 种软融带模式,专家知识库建立 5850 条规则,采集 1200 条过程机数据,系统采样时间间隔 1s,推理判断给出操作指导的时间间隔为 5s。

(2) 以无钟炉顶布料模型为主建立的模型集成系统,应用在日本京滨 1 号高炉( $4907\text{m}^3$ )上。该系统以装料制度、煤气流状态、炉体温度场、风量,风压、透气性等重要影响因素组成专家知识规则库。

(3) 以炉温预报与异常炉况判断为主的“专家系统”,应用在日本钢管福山厂 5 号高炉上,简称 BAISYS 系统。它包含 900 个检测点,传感器数据采用 1min 滤波,专家知识库含 700 多条规则(炉热预报 500 多条,炉况判断 200 多条);2min 一次预测异常炉况(包括管道现象和崩料等),20min 一次炉热状态推断。命中率达 83%。这是基于传感器的在线实时型“专家系统”。

(4) 数学模型与“专家系统”相结合的“混合型专家系统”,应用在日本住友金属鹿岛 1 号高炉上,简称 HYBRID 专家系统。建立专家知识库 1200 条规则,80%~85%时间依靠 T、炉热指数的预报模型操作高炉,15%~20%时间依靠“经验型专家系统”操作高炉。其铁水硅含量[Si]与铁水温度的预测命中率达到 85%~90%。

(5) 应用在日本川崎水岛 4 号高炉的 Advanced GO-STOP 模型,即炉况判断改进型“专家系统”。这也是上海宝钢继 2 号高炉在 80 年代中期引进 GO-STOP 模型后,90 年代引进的模型。

(6) 应用在新日铁君津 3 号高炉上的 ALIS 系统,即炉况诊断“专家系统”。

(7) 芬兰罗德洛基公司拉赫钢铁厂“高炉自动控制专家系统”。这是 90 年代以后,芬兰在引进日本 GO-STOP 模型基础上开发成功的“高炉专家系统”。其高炉指标在入炉料品位为 62%,吨铁渣量为 200kg 条件下达到利用系数为  $3.3\text{ t}/(\text{d}\cdot\text{m}^3)$ (按照高炉有效容积计算,与中国的 高炉全容积计算不同),入炉焦比为  $345\text{kg/t}$ ,油比为  $80\text{kg/t}$ 。“专家系统”的功能包括装料监控(配料计算);煤气分布与煤气利用率  $\text{CO}/\text{CO}_2$  分析;塌料、崩料、滑料、结瘤、悬料(压差)等非正常状态识别;铁水温度与[Si]控制;以及出铁控制等。

(8) 奥钢联工程技术公司与林茨厂开发的“VAiron 高炉优化软件包——专家

系统”。该系统实现了入炉焦比、碱度控制和蒸汽加湿的自动控制。并且改变了国外“高炉专家系统”一贯的对原燃料条件的苛刻要求,表示该“专家系统”能够适应原燃料条件变动的短期调整。

此外,比利时、瑞典、澳大利亚、美国、俄罗斯等国家也都开发应用了自己的高炉“专家系统”。随着计算机技术的不断进步,“高炉专家系统”的应用已经成为推动炼铁技术进步的大趋势,是挖掘高炉生产潜力,实现节能降耗的重要措施。

上列所述的有代表性的若干高炉数学模型与“专家系统”中,其主要模型与功能各有特点。由于不同高炉的“专家知识”有所不同,因此,“专家系统”的推广应用存在相当的难度。迄今,在国际上推广应用的“高炉专家系统”也仅是日本的 ADVANCED GO-STOP 系统,芬兰的“高炉控制专家系统”,“奥钢联的 Vairon 高炉优化软件包与专家系统”等少数几个“专家系统”及其开发工具,并且其价格十分昂贵,均在 100 万美元档次上。由此可见“高炉专家系统”的技术难度和知识产权价值。

### 1.2.3 国内高炉自动化研究中的计算机应用进展

与国际先进水平相比,国内大型钢铁公司投入“高炉专家系统”开发应用研究的资金与技术力量都比较薄弱。20 世纪 90 年代以来,国内高炉推进基础自动化改造取得了显著成效。许多高炉在完成基础自动化改造中采用了计算机数据采集系统 PLC 或 DCS 替代了高炉仪表,实现了高炉过程参数的集中监控。这些基础自动化改造取得了炼铁生产的应用成效,高炉冶炼过程的顺行状态和技术经济指标得到改善。以计算机替代高炉仪表作为高炉应用计算机的初级阶段,它也为“高炉专家系统”的应用打下了硬件技术基础。

在国内钢铁联合企业与大学合作开发的高炉数学模型和“专家系统”中,具有代表性的有:

(1) 首钢“人工智能高炉冶炼专家系统”。这是 20 世纪 90 年代初北京科技大学与首钢合作开发的“专家系统”,应用在 1726m<sup>3</sup> 高炉上。它包括 3 个子系统:炉热状态判断子系统([Si]预报);炉况顺行判断子系统(悬料,崩料,滑料等)和炉体状态判断子系统(炉墙结瘤,冷却壁烧穿及漏水等)。该系统是当时国内的领先水平,1998 年曾获得国家专利(专利号:93108671.X)。然而由于没有随着计算机技术进步继续深入开发和完善提高,2000 年首钢已引进芬兰的“高炉控制专家系统”取而代之。自主技术开发的曲折进程令人深思。

(2) “鞍钢 10 号(2580m<sup>3</sup>)高炉专家系统”,这是 1995 年冶金部立项的重大课题,投资 500 万元,由北京科技大学、东北大学和鞍钢三家合作开发。经过 6 年努力,在专家知识库、炉况诊断等方面取得一定成果。该系统仍在调试完善中。由此可见“高炉专家系统”开发的技术难度,特别是多学科交叉的技术研究开发转化为生产力的难度。

(3) “马钢 2500m<sup>3</sup> 高炉炉况诊断专家系统”,是原冶金部自动化研究院与马钢合作开发的“专家系统”。它在原有 VAX 计算机基础上,加上工业微机作为人工智能(AI)处理机,进行模型运算和“专家系统”推理。该系统类似于 ADVANCED GO-STOP 系统,其仍在完善调试中。

(4) 宝钢 2 号高炉 1986 年引进日本的“GO-STOP 系统”。这是国内巨资引进软件的第一座高炉。在消化引进技术的基础上,1991 年宝钢与复旦大学合作开发了 1 号高炉(4063m<sup>3</sup>)“炉况监视和管理系统”,在宝钢 1 号高炉上使用至 1995 年停炉大修。1995 年又在 2 号高炉(4503m<sup>3</sup>)上开发、实施了“高炉人工智能专家系统”。1997 年通过了专家技术鉴定。由于宝钢高炉的“专家系统”是在高水平装备条件和高质量原燃料基础上的“专家系统”,国内一般大型高炉达不到这些条件,因此,未能推广应用。

(5) 武钢 4 号高炉(2516m<sup>3</sup>)1997 年引进芬兰罗德洛基公司的“高炉控制专家系统”,系统软件费 1100 万元人民币,配套检测设备投资 2300 多万元。1998 年该系统投入生产应用,并取得技术经济成效。

在武钢引进“高炉专家系统”之后,我国特大型钢铁企业首钢、本钢、昆钢、攀钢等大型高炉也相继以 80 万欧元~140 万美元巨资引进芬兰、奥地利的“高炉专家系统”,以推动高炉炼铁技术进步。

(6) 由浙江大学与杭钢、济钢、新临钢和莱钢等钢铁厂成功合作,将“高炉炼铁优化专家系统”推广应用到 350m<sup>3</sup>、380m<sup>3</sup> 和 750m<sup>3</sup> 高炉上。该系统是 1999 年国家科技部批准的《国家级科技成果重点推广计划》项目,浙江大学为技术依托单位。这是在我国炼铁专家指导下,吸收国外“高炉专家系统”开发中的先进经验,主要从国内一般高炉装备条件与原燃料稳定性相对较差的实际出发,通过建立数据库,进行工艺参数系统优化,进行炉温预报与异常炉况判断,帮助工长实现优化操作与科学管理。因而取得了投资省、技术经济效益大的显著成效。

“高炉炼铁优化专家系统”是根据我国炼铁专家提出的“优质、低耗、高产、长寿”的炼铁目标和“安全、稳定、均衡、顺行”的操作方针,建立起冶炼过程多目标优化的数值变分模型与变频数理统计算法,从而能够数量化地求解特定高炉的最佳工艺状态,即高炉工艺参数的最佳范围及工艺参数的优化组合。同时,在 Bellman 动态规划基础上,进一步建立了炉温控制的偏微分方程及其神经网络算法,进行炉温[Si]的动态控制预报,从而解决了如何实现炉温的最佳控制的难题。浙江大学发挥国家重点研究型综合性大学在计算机技术、信息技术、自动控制技术和数学模型技术方面的多学科交叉优势,并且追踪计算机与信息技术的进步步伐,与炼铁工艺技术密切结合,与时俱进地完善提高“专家系统”的功能。因此在钢铁企业有远见卓识领导的支持下,结合企业的条件和特点,不断地开发提高“专家系统”的水平,为企业创造了实实在在的经济效益。1995 年在杭钢 1 号高炉投入运行的是

DOS 版本的“高炉炼铁优化操作计算机系统”,1999 年在济钢 1 号高炉投入生产运行的是 Windows 版本“炼铁优化专家系统”,2001 年在莱钢 1 号 750m<sup>3</sup> 高炉上投入生产运行的则是网络版“智能控制专家系统”。网络版“智能控制专家系统”实现了值班工长操作控制—工程师技术分析—厂长管理决策优化上的“三位一体”应用,取得了重大的技术经济效益。

为了进一步提高我国高炉炼铁操作技术与管理水平,2000 年 1 月中国金属学会在武钢召开了“高炉智能化操作研讨会”,进行技术交流。会上,武钢介绍了 4 号高炉引进的芬兰罗德洛基公司“高炉控制专家系统”的应用经验。浙大与济钢介绍了国产的“高炉炼铁优化专家系统”的应用经验。《会议纪要》指出:两类专家系统有共同之处,即都是以基本冶金原理和应用数学知识为基础,将高炉工作者丰富的操作经验用计算机语言表达出来,在生产过程中向高炉操作人员和管理人员提供建议和指导。两类“专家系统”又各有特点。“武钢 4 号高炉专家系统”主要用于高炉的动态控制,要求高炉的基础自动化达到一定的水平。而国产的“炼铁优化专家系统”主要对高炉操作和管理提出决策建议和指导,面向高炉工长的各类作业,实现了操作技术与生产管理应用计算机的一体化和最佳化。这一系统的特点是比较符合我国高炉原燃料条件和监测、自动化水平相对较差的生产实际,投资省,而且拥有我国独立的知识产权。2002 年 9 月,在中国钢铁工业协会的大力支持下,钢铁工业信息与自动化推进中心在山东莱钢召开了“全国高炉智能控制专家系统应用交流会”推广应用莱钢的经验。它表明拥有我国自主知识产权的“高炉智能控制专家系统”已经成熟地走上推广应用之路。

近几年来,为早日开发成功国产的“高炉专家系统”,我国的炼铁专家倾注了大量心血和努力。1999 年,我国炼铁专家周传典、徐矩良、刘云彩、奚兆元等 4 位教授级高工在《中国冶金报》和《炼铁》杂志上撰文郑重推荐“高炉操作的第三代技术”。他们以中国第一代高炉工长的经历,推荐应用计算机进行人机会话的高炉操作第三代技术。同年,国家科技部批准了“高炉炼铁优化专家系统”为《国家级科技成果重点推广计划》项目,批准浙江大学为《国家级科技成果重点推广计划》项目——“高炉炼铁优化专家系统”的技术依托单位。在原冶金部有关领导和中国钢铁企业协会、中国金属学会的大力支持下,“高炉炼铁优化专家系统”的软件版本不断升级,从 1995 年的 DOS 版本,到 2001 年的网络版“高炉智能控制系统”,智能化水平大大提高。随着信息化、网络化与自动化技术的日新月异发展,“信息化带动工业化,实现跨越式发展”已经成为我国推进传统工业技术进步的重大战略。它既反映了高新技术能够为企业创造巨大的经济效益,同时也反映了自动化技术发展到一个新的台阶——大型复杂工业系统的智能控制自动化。在大型高炉较好的基础自动化条件下,“专家系统”可进一步加强设备诊断功能、炉况故障诊断功能,以及炉温动态预测控制功能。因此,将国产高炉专家系统推广到 1000m<sup>3</sup> 以上大型高炉的

应用技术性能已经成熟,大型高炉应用国产的“高炉专家系统”必将很快展开。

#### 1.2.4 国内外高炉“专家系统”的简明对比

从以上有代表性的简介中可知,由于高炉装备条件和原燃料条件相对差等客观原因,我国大多数高炉开发应用“高炉专家系统”与国外先进水平的“高炉专家系统”的应用有着明显的不同特征。为了便于对比借鉴,这里将国产的“炼铁优化专家系统”与引进的“高炉专家系统”在应用基础、系统功能以及投资效益比等方面进行了简明对比,见表 1-1。

表 1-1 “高炉专家系统”功能综合对比表

开发/应用者		杭钢、济钢、新临钢、莱钢等应用的国产“高炉炼铁优化专家系统”	武钢引进的芬兰“高炉控制专家系统”	宝钢引进的日本 ADVANCED GO-STOP 系统
应用基础要求	高炉容积	已成功应用于多座 350~750m <sup>3</sup> 高炉	2516m <sup>3</sup>	4063m <sup>3</sup>
	原燃料条件要求	正常原燃料条件,通过优化改进	入炉原燃料质量稳定性要求高	入炉原燃料高质量、高稳定性
	基础自动化要求	基础自动化与信息网络化	检测点多要求高	同左
	系统思路	通过系统优化寻求高炉最佳状态下的智能控制,避免炉况异常状态发生	在线详细采集数据,在“专家知识”基础上推理判断	建立详细的专家知识规则,进行炉况异常判断
1. 数据仓库		50 张数据表存储全炉役历史数据,包括原始数据库、专家知识库和优化参数库等	实时数据、局部历史数据库、专家知识库	同左
2. 配料优化计算		3 种配料计算与优化模型	配料计算与焦比计算	未见报道
3. 智能监控		开发多种智能化软件仪表,如炉体温度场、煤气曲线图等	冷却壁展开图等	未见报道
4. 异常炉况诊断与报警		炉墙结厚结瘤、管道、悬料、炉缸堆积等 4 种主要异常炉况诊断	滑料/结瘤/管道/崩料/悬料/异常识别和 CO/CO <sub>2</sub> 等详细诊断	通过炉况状态雷达图,评分判断 GO-STOP-BACK
5. 系统优化决策		设计 7 类优化模块,寻求生产过程优化挖潜规律	包括热平衡/煤气流变化分析等方面	无此功能
6. 管理统计报表		15 张工长作业管理报表自动生成,取代《高炉作业日志》	无汉字管理报表	同左
7. 炉温[Si]数值预报模型		时间序列混合模型与神经网络算法	神经网络模型	炉热指数模型
8. 炉温智能控制		通过炉温控制方程多阶段计算炉温预测控制的成效	定量计算炉热调剂的焦比变动量	炉热控制原则指示



续表 1-1

开发/应用者 功能项目	杭钢、济钢、新临钢、莱钢等应用的国产“高炉炼铁优化专家系统”	武钢引进的芬兰“高炉控制专家系统”	宝钢引进的日本ADVANCED GO-STOP系统
9. 信息网络化	建立铁区局域网,各终端联网,技—管—控三位一体应用	“专家系统”仅用于高炉主控室	同左
10. 软件费用	软件开发费用大致是引进“专家系统”的1/3	“专家系统”需1100万元,配套装备需2000多万元	软件系统需100万美元
11. 预期技术经济效益	承诺一般高炉提高利用系数 $0.1t/(d \cdot m^3)$ ,降低焦比 $10kg/t$	不承担效益保证	同左

通过表 1-1 的简明对比看到:根据我国高炉的客观条件低成本地开发应用的“专家系统”,其性能与引进“专家系统”对比各有优势。国产“炼铁优化专家系统”最大的优势在于投资省而且应用效益显著。在技术性能上更适应工长的操作传统习惯,更容易为工长所接受。

实践业已证明,在高炉装备水平与原燃料客观条件存在明显差距条件下,简单地模仿国外的“高炉专家系统”,或在引进国外的专家系统“开发平台”上自行开发“专家系统”,在生产应用中都是很难取得成功的。

显然,密切结合国内高炉客观实际,创新地开发拥有自主知识产权的、实用的“高炉专家系统”,在软件与数学模型技术上要求更高。我们以我国炼铁专家提出的“炼铁目标”和“操作方针”为指导,以工长作业中的迫切需要为出发点,使“专家系统”全方位地为工长的作业服务,适应工长的需要,因而成为工长得力的生产工具。这是国产“炼铁优化专家系统”的最重要特点。

### 1.3 高炉过程的系统优化与智能控制自动化

#### 1.3.1 应用“专家系统”是炼铁技术发展大趋势

应用“高炉专家系统”提高高炉的操作技术水平,挖掘高炉生产潜力,节能降耗,提高经济效益,是钢铁企业引进和开发应用“高炉专家系统”的源动力。

高炉炼铁作为钢铁联合企业的上游工序,其能耗约占企业能耗的 60%,成本约占 1/3。显然,炼铁的节能降耗在企业提高效益中占有重要的地位。在挖掘高炉潜力的各种工艺措施之外,推进高炉冶炼过程的自动化控制当然是首选目标。

由于高炉冶炼过程操作控制的复杂性,我们时常看到高炉发生的工艺性故障以致事故,给高炉生产带来巨大损失。越是大型高炉,这种经济损失越大。如果仍然停留在工长各自经验操作的基础上,这种事故就难免会发生。随着高炉装备与操作技术水平的提高,要进一步挖掘高炉生产潜力,仅靠工长个人经验是难以实现的。

“专家系统”作为人的智力劳动的延伸,作为“专家级”操作人员经验与智慧的结晶,各种专家知识规则借助于计算机技术和信息技术的进步,能够及时地、自动化地判断冶炼过程发生的各种异常炉况,从而避免了人为的疏忽,为工长精细化操作赢得了时间和经验。这样,使用“专家系统”取得经济效益也就是顺理成章的事了。

然而,在我国  $300\text{m}^3$  以上容积的 250 多座高炉中,目前只有少数几座高炉应用了“专家系统”。而且,在大型高炉上应用的专家系统基本上都是以巨资引进的国外“专家系统”。对于一般高炉来说,这种巨资投入是难以承受的。中国要从钢铁大国发展成钢铁强国,必需尽快开发拥有自主知识产权的智能控制自动化的“高炉专家系统”。

### 1.3.2 基础自动化与信息网络化是实现炼铁过程智能自动化的硬件基础

当前,我国钢铁工业面临着“信息化带动工业化,实现跨越式发展”的历史机遇。国家对制造业信息化工程的大力投资,为钢铁企业的信息化改造,为顺利推进高炉冶炼过程的自动化控制提供了难得机遇。

高炉工艺的复杂性,使得冶炼过程的信息分散在各个不同的子工序和生产岗位上。没有高炉生产各工序、各岗位信息的及时传递,高炉主控室也就无法得到冶炼过程控制所需的完备信息。且不说与高炉冶炼控制直接相关的配料-上料-布料工序的信息,富氧-鼓风-喷煤的信息,单说化验室化验分析的人炉原燃料化学成分,铁水-炉渣化学成分,过磅站的铁水计量信息,如果不能及时传递到高炉主控室,那么炉温预报的数学模型和预测控制方程也就无法及时运行,从而失去数学模型工作的时效性。许多高炉事故的发生,也正是工长在信息缺损情况下,因为误判断导致操作失误造成的。

因此,与冶金专业对冶炼过程的工艺技术研究不同,“高炉专家系统”的开发是在现有工艺条件下,把计算机作为生产工具的有机组成部分,通过信息技术、控制技术和数学模型技术的研究,寻求炼铁工艺过程的最佳控制问题。当然,这种研究是与炼铁工艺过程密切结合的多学科交叉研究。它需要从新的角度深化工艺过程的研究,以获得更好的技术经济效益。

高炉过程的智能控制自动化需要建立起炼铁厂和铁区系统的计算机网络。需要在各工作岗位设置计算机终端,形成以高炉主控室为核心的信息流网络。这一网络建设是钢铁厂管理信息系统(MIS)信息化网络化建设的一个组成部分,并且是在生产过程优化中可以立竿见影,取得效益的一个组成部分。

铁区信息化所实现的数据资源共享,使得化验室终端化验员的数据录入工作也能够成为高炉冶炼过程智能控制自动化的组成部分;使得炼铁工程师的技术分析工作与技术科办公室就能够在线进行,从而使生产过程优化分析的时效性大大提高;而厂长办公室的网络终端使得厂长能够实时检查、监督高炉的生产操

作,对高炉生产中存在的决策优化问题能够随着情况和条件的变化及时作出调整。这种操作-技术-管理“三位一体”的专家系统应用,全面地推进着高炉冶炼过程的智能控制自动化。网络化运行的智能控制自动化系统的应用不仅仅是工长岗位的事情,而且是汇集众多岗位人员的智慧,汇集着操作-技术与管理各层次岗位人员的智力劳动自动化。

### 1.3.3 智能控制自动化的两项重要模型基础

纵观控制理论的发展历史可以看到在经典控制论基础上发展起来的现代控制论,其非线性控制的核心是与计算机技术、计算技术的发展密切联系的。非线性系统的自动化控制问题,包括 Bellman 动态规划, Kalman 滤波都是专门针对非线性问题设计的。它的解决都需要高性能的计算机才能够实现的。计算机功能的发展强大,为现代控制论奠定了硬件基础,而新的计算方法的建立,则是控制技术的核心。

同样,更为复杂的高炉炼铁自动化控制研究,它不仅涉及经典控制论范畴的问题,涉及现代控制论范畴的问题,同时还提出了智能控制的新课题。高炉过程的智能控制自动化不仅需要单台计算机满足实现基础自动化控制的性能要求,同时还需要各子工序计算机的联网,建成以高炉主控室为中心的计算机局域网,实现各子工序信息流的网络化。各种涉及控制的信息必须及时地传递到高炉计算机系统的服务器上,作为信息源自动启动高炉控制模型进行新的运算。计算机的数据存储容量和计算速度必须能够满足高炉数学模型在线计算与智能化判断速度要求。只有这样才能够建立起高炉过程智能控制自动化系统。

由此可见,高炉智能控制自动化问题不仅仅是核心的炉温预测控制数学模型问题,同时,智能控制自动化更是一个系统工程问题。如果不从过程信息流的自动化上解决问题,高炉自动化控制显然是无法实现的。而如果不是从过程信息流上建立系统优化的数学模型,那么数学模型也因为没有全面反映高炉过程控制的特性而失效。

高炉冶炼过程的炉温作为状态变量,它受众多输入变量即原燃料参数的影响;它也受各种控制变量的影响,如配料、布料、送风、富氧、喷煤等等的影响;同时它也受其他状态变量的影响,如高炉本体温度场状态,煤气流状态,铁量差状态等等的影响。这数十项变量的影响,决定了炉温的控制问题是一个非线性的复合控制问题,并且是一个系统优化的问题,而不是单纯的反馈控制问题。

在控制论中,系统控制问题的研究中,一个十分重要的前提是系统稳定性问题。而系统优化则是建立系统稳定性的基础。在系统优化规律基础上建立起来的系统控制,才能够达到控制的稳定性。因此,要实现炉温的自动化控制,进行冶炼过程的系统优化,计算过程控制的优化规律,则是其重要的基础。

系统优化模型与炉温智能控制模型的建立是智能控制自动化的两大数学模型基础。

## 2 高炉过程的工艺控制复杂性

在现代化钢铁联合企业中,高炉炼铁作为钢铁生产流程的一个上游工序,为下游的炼钢工序提供质量合格的铁水。然而,炼铁工艺自身的连续化生产流程却是由诸多子工序组成的复杂生产系统。从自动化控制角度考察高炉冶炼过程,高炉流程是以值班工长为指挥中心的多工序、多岗位、分工配合、协调进行的生产过程。在这样错综复杂的生产环节链中,某一个子工序的某一环节出现波动或故障,都要影响到高炉的冶炼进程。其结果将影响高炉过程控制从正常进程转入故障进程,炉况状态也会因而发生变化。于是高炉冶炼过程的控制模型也就进入完全不同的模式。因此,要把握高炉过程控制的复杂性,我们必须首先解剖高炉工艺流程的复杂性。

### 2.1 高炉冶炼进程中工长作业的复杂性与运筹控制

#### 2.1.1 炼铁工艺流程的主要组成工序

从工艺流程角度考察常规的高炉炼铁工艺,它包括以下内容:

- (1) 值班工长在主控室的“炉内作业”;
- (2) 炉前的出渣、出铁作业;
- (3) 槽下原燃料的配料与称量子系统;
- (4) 炉顶卷扬的上料与布料子系统;
- (5) 热风炉的燃烧与送风子系统;
- (6) 富氧与喷吹煤粉子系统;
- (7) 高炉冷却水子系统;
- (8) 设备维护子系统;
- (9) 煤气采样与分析子系统;
- (10) 生产调度协调,调度室配送渣罐、铁罐等;
- (11) 化验室化验原燃料、铁水、炉渣等化学成分;
- (12) 过磅站铁水称量系统等。

这些工序环节由不同岗位人员操作控制着,并且与高炉主控室交流着作业信息,按照值班工长的指挥,形成子工序控制与高炉进程控制的相互配合与协调。

高炉工艺主流程各子工序中,配料、上料、布料、鼓风、富氧、喷煤、出渣、出铁各环节的上百项参数对高炉冶炼进程产生复杂的影响。一些辅助工序发生的意想不

到情况,有时也难免影响高炉的正常进程。例如,铁罐、渣罐不能及时到位,影响高炉的正点出渣、出铁。这时炉况的变化都可能使正常运行的数学模型失效。因此,高炉过程的智能控制模型必须从整个系统的配合上,详细考虑各种可能发生的情况分类。

### 2.1.2 值班工长的炉内作业、炉前作业与作业管理

高炉冶炼过程各子工序的控制调整,是在值班工长对各种过程信息的观察、分析的基础上,对炉况、炉温的发展作出判断与决策后,指挥、协调各子工序配合完成的。

在高炉正常冶炼进程中,值班工长通过炉前作业,观察铁水、炉渣的温度、颜色、流动性等状态,观察风口燃烧的活跃状态等方面,进行分析与判断;在主控室的炉内作业中,工长调阅计算机监控站画面或高炉仪表显示和《高炉作业日志》的记录,全面把握高炉的炉况顺行状态和炉温的发展趋势。在此基础上作出对高炉进程的运筹控制。在高炉正常冶炼进程中,值班工长完成的经常性监测、检查与作业项目包括以下内容:

- (1) 监测高炉本体各部位上百项温度、压力、流量的情况,包括高炉各部位冷却系统和设备备件的运行情况;
- (2) 监测送风作业的风量、风温、风湿、风压、顶压、压差、透气性等情况;
- (3) 监测富氧流量、压力与喷煤速率、压力情况;
- (4) 检查炉前出渣情况,观察渣量(上渣量、下渣量)、渣色、流动性和出渣时间等;
- (5) 检查炉前出铁情况,包括出铁开始和出铁结束的时间,出铁口的角度、深度和打泥量;估计铁水的重量和铁水的硅含量、硫含量(目测值);
- (6) 检查上料的矿批重、焦批重、各种入炉矿的配比、熟料比以及焦炭负荷与配料碱度等情况;
- (7) 检查各种入炉原燃料,包括焦炭、烧结矿、球团矿、生矿以及熔剂石灰石、萤石的化学成分数据、理化检验数据等情况;
- (8) 检查无钟布料的装料制度、布料角度 $\alpha$ (矿角、焦角)、料流开度 $\gamma$ 角和转速 $\beta$ 角的设置情况;检查料线、料速情况;
- (9) 检查炉顶混合煤气成分( $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 含量)和炉喉煤气 $\text{CO}_2$ 曲线情况;
- (10) 检查高炉各风口的工作状态,判断风口燃烧带的温度水平;
- (11) 监测炉顶十字测温或炉喉红外成像等检测装置所反映的炉顶温度场分布情况;
- (12) 工长的作业管理报表汇总,包括《高炉作业日志》的记录与整理,高炉作业台账汇总与填写等。这既是生产作业的统计计算,也是工长从数据分析中总结

作业规律。特别是大夜班值班工长,在夜里 3:00~5:00 时需要对前一天 3 班的生产作业数据进行统计汇总,填写各类统计台账与报表。

### 2.1.3 值班工长作业中的智力劳动

高炉工长通过以上这些环节的工作,从不同的角度分析、判断高炉的进程。在综合各方面信息的基础上,对炉内冶炼行程进行最主要的逻辑型综合判断如下:

(1) 高炉设备状态(包括冷却系统)是否正常? 是否存在故障的征兆? 设备安全是高炉正常操作的前提,也是正常运行高炉数学模型的前提。

(2) 高炉的炉况顺行状态是否正常? 料速、透气性、煤气流状态如何? 是否存在炉墙结厚结瘤、悬料、崩料、管道与炉缸堆积等故障征兆? 或者是否已经发生了炉墙结瘤或悬料等故障? 高炉炉况是在顺行状态下还是处于故障状态,其操作控制的指导思想是完全不同的。顺行状态下的高炉操作控制是寻求优化控制,而故障状态下的高炉操作是要尽快消除故障、恢复正常炉况的操作控制。

(3) 在炉况顺行前提下,高炉的炉温控制是否合适? 当前的炉温状态是否需要调整? 如果需要调剂,那么是控制喷煤量,还是控制风温或者风量? 是否需要调整焦炭负荷或配料碱度? 各种参数调整的可行性如何? 例如,希望提高风温,但是风温已用完,这样在热风炉换炉前提高风温是不可行控制。因此,冶炼过程各类参数的控制优先级如何确定,调整量如何计算等等就是一个复杂的运筹控制问题。不同的工长有各自的操作经验。不同的有效操作也都能够保持高炉进程的正常运行。它反映了高炉过程操作控制具有高度灵活性和适应性。当然判断失误、操作不当或调控力度不够,就难免发生高炉炉况异常,或者炉况故障征兆没有消除,相反更加严重了,终于导致炉况事故发生。

在分析、判断和综合的基础上,工长需要对炉况作出智能化的、预见性的调控决策。这是因为高炉的一次检测元件所反映的数据不等于高炉故障本身。高炉炉内的故障形态目前只有少数能够实时观察到,大多数判断属于逻辑推理的、智能化的论断。例如炉墙结瘤,或可能要发生悬料,都是推理的结论而不是实际观察到的故障。代表炉温的铁水硅含量 $[\text{Si}]$ 、炉渣碱度 $(R)$ 等参数也不是在线实时检测到的,而是在出铁之后 30min 才由化验室分析出来的。在得到这些信息之前的大约 2h 中,工长要根据自己的预测判断和预期的控制目标,调控各种影响参数,实施冶炼进程的控制。正是由于这些错综复杂的原因,带来高炉冶炼过程的控制是智能化控制,是预测控制,是运筹控制,而不是单纯的实时反馈控制。

对高炉过程的运筹控制,操作技术水平高的工长不是待到高炉发生故障了才去处理故障、尽快消除故障,他们都是能够敏感地把握故障的征兆,在故障的萌芽期就消除了故障的诱发因素,并且保持高炉处于最佳的运行状态中。这也正是高炉过程计算机智能化控制追求的目标。

### 2.1.4 值班工长对高炉进程的运筹控制

在经过设备—炉况—炉温这 3 个层次的分析判断后,如果工长认为一切正常,

不需调控,那么继续保持原来的控制参数;如果认为炉况发生了变动,需要进行调剂,工长作出了调控决策,那么他将通过电话通知有关的控制工序进行调剂;或者由值班工长通过计算机和仪表实现对冶炼过程的有关参数的调剂与控制。

工长的控制与调整,是在不断获取各方面的控制信息和判断控制效果的基础上动态进行的。显然,高炉过程的计算机智能化控制也就必须对这些信息进行深入的分析、处理,才能够建立起相应的智能化数学模型。

(1) 如果工长预测炉温波动不大,只需“微调”,那么值班工长电话通知喷煤车间,要求按照新的“小时喷煤量”调整高炉的喷煤速率。这是单一控制量的数量调整,似乎很简单。但是,即使这样单一的调整,其变动量也不是线性的。它完全是随着冶炼过程料速、透气性、铁量差的状态不同,与风量、风温变动量的相互配合决定的。因此,这是多变量组合控制中的一元控制。

炉温微调也可以通过调整风温、风湿来达到。这时工长通知热风炉车间变更风温、风湿。但是,为了充分利用能源,在一般情况下风温都是满负荷供给的。因此,调节风温一般只是降低风温,而这样处理意味着浪费能源。所以,一般不用风温进行炉温微调。

(2) 如果工长预测炉温已经形成了某种发展趋势(例如向热趋势或向凉趋势),那么即使维持各项控制参数不变,炉温的发展也会继续趋向过热或过凉,诱发炉况故障。因此必须超前确定需要改变的人炉料批重和配比,入炉焦比或负荷,配料碱度或装料制度等。这时,值班工长使用计算器重新进行配料计算,填写《炉料校核单》,并且通知槽下控制室按照新的配料方案配置入炉原燃料。

(3) 如果工长根据炉喉煤气曲线和混合煤气的成分分析,认为煤气曲线不合适;或者根据炉喉十字测温的信息分析判断十字测温曲线不合适;或是认为炉体温度场不合适,需要改变布料方式或装料制度等参数,值班工长将通知卷扬上料布料系统,重新设置无钟炉顶的布料角度(矿角、焦角)、料线及装料制度等参数,改变上料布料参数。如果炉体温度场不合适需要调节冷却系统,那么就由水管工调节冷却水的压力与流量,以改变冷却系统的热流强度。

(4) 如果工长根据料速和透气性的变化,认为需要变更风量、风温,那么可以在主控室进行控制调整或电话通知热风炉车间进行调整控制。

(5) 如果工长通过分析入炉原燃料成分的变化以及铁水、炉渣成分的变动,认为炉渣碱度( $R$ )已经偏离正常的范围,可能影响铁水的质量和产量,那么工长将重新进行配料的计算验证,填写“配料校核单”,对槽下配料系统提出新的变料要求。如此等等。

从以上列举的工长调控炉温中的若干典型情况可以看到高炉进程对工长的运筹控制要求。实际上在高炉冶炼正常进程中,炉况在变化,炉温在变动,原燃料参数在变动,操作控制量在变动,它们构成了十分复杂的随机变动。如何根据这些错

综复杂的变动,确定正确的控制对策,构成了高炉进程智能化控制的丰富内容,构成了建立随机最优控制数学模型的要求。这种复杂的高炉操作控制只有经验丰富的工长和炉长才能够把握。即使是有经验的工长,面对复杂的炉况,也需要十分细心分析判断,花费大量脑力劳动,才能够正确把握高炉冶炼进程,取得好的生产成效。我们也看到:面对复杂的炉况,在交接班作业情况下,或者在大夜班的夜深时刻,有时工长也难免发生疏忽,导致高炉悬料等事故的发生。而一次严重的高炉事故,一般都需要几天以致一周时间才能够使高炉炉况恢复正常。在这种情况下,高炉损失铁产量上千吨,多消耗焦炭上百吨,经济效益的损失达到数百万元。因此,人们期待着计算机在高炉炉况判断与控制模型上帮助工长一臂之力,把高炉过程的计算机智能化控制作为技术进步的努力方向。

综上所述,考察高炉工长在主控室的作业过程,可以看到高炉冶炼过程的操作控制是一种智力劳动过程,是工长运用炼铁专业知识进行智能化判断与决策下的运筹控制,是工长组织、指挥下的多工序合成的复合控制,是诸多影响因素作用下的随机优化控制,而不是简单的某项参数或一批参数构成的线性系统或非线性系统的反馈控制。因此,高炉冶炼过程的自动化控制难题不仅仅是经典控制论或现代控制论范畴内的问题,而且是智能控制自动化范畴的问题。

## 2.2 高炉冶炼过程炉况故障状态的复杂性

在冶金实用技术丛中,工艺上讨论高炉炉况的判断与处理,把炉温状态作为炉况状态的一种类型进行讨论与判断。而本书的“炉况”概念是特指炉内炉料运行的状态。在数学模型分类上,它包括“炉况顺行状态”、“炉况异常状态征兆”与“炉况故障状态”3种情况。虽然炉况状态与炉温[Si]状态是密切关联的,并且炉况的异常往往是由炉温的异常诱发的,但是从数学模型分类上,把“炉况”与“炉温”作不同数学类型处理。这是因为:炉况判断的数学模型主要是专家知识基础上的数理逻辑推理模型——炉况诊断模型;而炉温控制则主要是非线性系统的数量计算模型与偏微分方程控制模型。不同类型的数学模型在计算机软件功能上的不同要求在本书上篇第3章中叙述。

### 2.2.1 炉况的顺行状态

高炉炉内不断地进行着高温物理化学过程,煤气流和固体、软熔体、液体在不断地对流运动中,每一批入炉的原燃料的化学成分也是不断变化的,外部环境对开放型的高炉冶炼进程也产生着影响。如此等等,内外影响因素——可以观测的因素和不可观测的因素,造成高炉的运行状态处在不断变化之中。

这些运动变化的形态,能够通过仪表检测反映出来的,包括:炉体温度场的变化,煤气流状态与成分的变化,冷却水温差的变化,炉体各部位压力状态的变化,以及设备状态的变化等,都是从高炉外部检测得到的。而高炉内部的运动状态,目前



还没有仪表能够直接观察或直接检测。因此,一般是由可检测的数据,通过建立经验模型或其他数学模型进行计算推断,从而判断炉况状态是顺行状态还是故障状态。

所谓高炉炉况的顺行状态是指高炉炉内运动状态不发生任何形式的故障,冶炼进程能够按照计划时间顺利地进行,并且达到正常的生产水平。炉况故障的形态多种多样,通常主要是指:炉墙结厚结瘤、悬料(坐料)、崩料、管道(中心管道和边沿管道)和炉缸堆积(中心堆积和边沿堆积)等若干种。

高炉炉况处于故障状态征兆下,其操作的主要任务是消除导致故障萌芽的影响因素。在故障发生时,一切操作都要围绕尽快消除故障状态而进行。此时的控制策略是“把损失减少到最小”。只有在炉况顺行的状态下,才能够讨论冶炼进程的优化控制。此时的控制策略是“多目标优化追求效益最大化。”

在判断炉况状态是否顺行时,工长有许多基于直接观察法和经验的推理判断,包括:看风口温度状态和渣皮脱落推断炉温状态;看炉渣温度、渣色、流动性推断炉温是否正常;看铁水温度与成分估计炉温,看透气性指数、料速和炉喉煤气  $\text{CO}_2$  曲线推断是否炉墙结厚、结瘤,看计算机集中监测的炉体温度场判断炉况是否顺行等。在这些可观察现象中,只要能够采集到有效数据,及时向计算机数据库输入信息,就能够成为计算机智能化判断炉况状态是否顺行的判据。

计算机判断炉况的顺行状态使用排除法。当排除各类炉况故障状态成立,并且高炉的各项操作控制参数都属于正常范围时,那么计算机即可以推断高炉炉况属于“炉况顺行状态”。

### 2.2.2 异常炉况的主要种类

高炉炉况出现异常征兆时,如果计算机能够及时发现,提醒工长及时处理,消除故障萌芽因素,那就是计算机十分有价值的智能化应用。而这些征兆由于一时疏忽,不能够及时发现和有效处理,就会发展成炉况事故。一旦高炉发生炉况故障,则其经济损失是巨大的。因此,异常炉况的判断与识别是计算机应用于高炉冶炼进程的十分重要的方面。

本书简要讨论的“炉况故障状态”主要有5类形态。即炉墙结厚结瘤;悬料(坐料);崩料;管道(包括中心管道与边沿管道)和炉缸堆积(包括炉缸中心堆积和边沿堆积)。

#### 2.2.2.1 炉墙的结厚—结瘤—顽固性结瘤及其征兆

在高炉冶炼进程中,炉内高温物理化学反应过程的变化十分复杂。固体原燃料从炉顶装入后,随着炉料下降,温度升高,化学反应不断进行,矿石就会逐步变成软熔态,成为有黏性的软熔体。由于炉料中矿石和焦炭分布以及化学反应的不均匀性,由于沿炉墙气流运动的变化以及由于冷却壁的冷却强度不平衡,已经成为软熔态的炉料在下降过程中又会遇冷而粘结在炉墙上。如果这种粘结很薄,可以保

炉墙,对延长高炉寿命是有利的。如果这种粘结不断加厚,以致影响炉料下行和边沿煤气流发展,这种现象就是炉墙结厚。如果局部继续结厚到炉喉煤气曲线呈倒勾型,那就是结瘤了。当然,高炉内部的炉墙结厚、结瘤在正常冶炼进程中都是无法直接观察到的。但是,它是可以通过“异常征兆”的数学模型来进行推理判断的。

炉墙结厚的征兆包括:冷却水温差变小;炉身上部或炉身下部温度变动呈现下降趋势等。这是因为在炉墙结厚部位的热电偶温度下降;如果结厚部位在冷却壁上,那么由于温度降低,进出水的温差当然也就下降了。相反,当粘结物随着温度上升而脱落时,脱落部位的热电偶温度就会急剧上升。从而在高炉本体的温度趋势图上鲜明地反映出来。因此,通过温度的变化趋势和特征,即通过本体温度的时间序列图可以预测、判断炉墙结厚。

炉墙结厚如果不及时采取措施予以消除,那么粘结物在其周围很容易不断加厚,最终形成炉瘤。由于炉瘤的几何形状足以影响炉墙边沿煤气流的正常上升运行,煤气流线在结瘤处被迫改变上升方向,因此在炉喉的十字测温曲线上或炉喉煤气  $\text{CO}_2$  曲线上就会反映出边沿气流的变化特征。在结瘤方向,边沿的十字测温温度下降,或煤气  $\text{CO}_2$  含量升高。于是,炉喉十字测温曲线的边沿下折,而炉喉煤气  $\text{CO}_2$  曲线则形成边沿的“倒钩型”。

另一方面,根据炼铁专家知识,炉墙结厚—结瘤—顽固性结瘤的形成与发展是顺序关联的。即首先是发生炉墙结厚,如果不注意处理,局部结厚就会发展成炉瘤。当炉瘤不断长大,以致形成一片炉瘤或炉墙一圈都结瘤了时,这就是顽固性结瘤。显然,顽固性结瘤完全改变了高炉的炉形,严重破坏了炉况顺行。以致工艺上不得不采取“炸瘤”措施清除顽固性结瘤。其结果既影响了正常生产,也严重影响了高炉长寿。根据炉瘤发展的“三部曲”过程,要防止顽固性结瘤事故发生,就必须从炉墙结厚阶段就采取有效措施消除结厚,这样避免了炉瘤发生的基础,当然顽固性结瘤事故更不可能发生了。

综上所述,在炼铁专家知识基础上,通过高炉本体温度场、冷却水温差、炉喉煤气  $\text{CO}_2$  曲线、炉顶十字测温等数据的数值分析,集合分析与逻辑判断数学模型,就可以构成专家系统对炉墙结厚—结瘤—顽固性结瘤的预测与报警机制,成为工长监控、防范炉瘤发生的有效工具。通过运用计算机帮助工长及时地、正确地诊断炉墙结厚的部位,采取得力措施予以消除,我们就能够防范炉瘤于未然。

#### 2.2.2.2 悬料事故及其征兆

悬料是高炉炉温过热状态运行中时常发生的故障。此时炉料下降速度迟缓,以致料速停滞超过一定时间。从炼铁工艺角度解释悬料的形成,是因为炉温过热常常导致炉内料柱的透气性变差,风压增大,风压的静压力容易托起料柱;另一方面是因为软熔炉料在炉墙上粘结,既阻滞了边沿气流的上升,也阻滞了炉料的下行

运动。两方面作用的结果,软熔带以上料柱被阻滞,如果不及时消除,就会形成悬空的料柱,故称之为悬料。而从流体力学角度分析,应当看到炉内气流向上运动受阻,容易在高炉下部空间形成湍流。这种湍流的发展与加强就会产生巨大的托力顶住炉料下行。这种湍流的托力比风压增大产生的向上静压力要大得多,从而急剧形成高炉悬料。悬料事故不仅对高炉设备安全是危险的,而且对正常冶炼行程的破坏性也是很大的。

悬料的征兆包括:料速急剧下降以致停滞超过一定时间,透气性下降,风压上升,风量下降,顶压也下降,炉温向过热方向发展等方面。实践业已证明:计算机能够按照人工智能从悬料征兆中预报悬料危险的到来,其预警期大约 10min。如果 10min 内不对悬料征兆及时采取措施予以消除,那么 10min 后,悬料很快会发生。

因此,由料速、透气性、风量、风压、顶压等项实时采集参数随时间的变化情况——上升/下降,剧升/剧降的数值分析、集合分析和逻辑推理可以建立起悬料征兆报警的数学模型。对于悬料事故,计算机的智能化功能具有最重要实用价值的是预警,及时地提醒值班工长采取措施消除悬料苗头。当然,对已经发生的悬料事故的报警,提醒工长避免更严重的事故也是十分重要的。

#### 2.2.2.3 管道故障(中心管道与边沿管道)报警

管道是在炉料下降过程中由于化学反应速度的不平衡形成的,当然与布料过程的不平衡也是密切相关的。高炉内料柱形成了局部管道,必然破坏炉内煤气流的正常分布,因而大大降低了高炉的生产效率。也容易形成崩料,造成炉温的剧烈波动和铁水质量的波动。

形成管道的征兆包括风压下降,风量增加,高炉压差下降,透气性升高,炉顶温度也会升高,炉喉十字测温曲线异常和煤气  $\text{CO}_2$  曲线异常等方面。发生管道将导致  $[\text{Si}]$  和  $[\text{S}]$  的剧烈波动。因此,可以从以上参数的智能化判断中建立起管道故障报警模型。工长可以通过改变布料参数及时消除管道故障。

#### 2.2.2.4 崩料故障征兆及其报警

崩料就是炉料在下降过程中,在难行或短期停滞后突然自动下降,包括高处的料柱向低处崩落现象。这是由于料柱中矿石与焦炭的分布不均匀和化学反应速度的不平衡造成的炉内各部位炉料下降速度不同,形成料柱各部位高低差别较大,导致高处料柱向低处垮落。

高炉炉顶卷扬控制系统通过左探尺和右探尺来探测料面高度。如果在高炉冶炼进程中,左、右两探尺测到的深度不一致逐步增大,那么继续下去,则发生崩料的可能性就加大。在形成管道的条件下,料柱向管道内垮落也是典型的崩料现象。

发生崩料将带来炉温的剧烈波动,铁水硫含量剧烈波动,以致发生不合格铁。

崩料征兆的诊断主要靠左、右两探尺对料面的监测。发生崩料时,必然反映在

炉顶温度或炉喉十字测温的剧烈波动上,出现顶压冒尖。同时[Si]和[S]也要发生剧烈波动,[Si]剧降而[S]剧升。根据以上炼铁专家的知识,可以建立起崩料故障的预警模型。

### 2.2.2.5 炉缸堆积(中心堆积与边沿堆积)及其征兆

所谓炉缸堆积是指高炉煤气流长期过分边沿发展或长期过分中心发展而导致的炉况故障。前者称为中心堆积,后者称为边沿堆积。

这两种情况的征兆是:发生炉缸中心堆积时,炉喉煤气中心  $\text{CO}_2$  含量高,即煤气曲线呈“馒头状”,煤气利用率下降,容易发生烧渣口、风口情况;发生边沿堆积时,则炉喉煤气  $\text{CO}_2$  曲线为中心低,边沿高,呈“V”形,容易发生烧风口、渣口情况。而且,铁水成分呈现高[Si]、高[S]形态。

根据这些专家知识和判断条件,可以建立起炉缸中心堆积与炉缸边沿堆积的诊断模型。

### 2.2.3 异常炉况征兆与故障识别的数理逻辑诊断模型

综上所述,炉况异常征兆预警与炉况故障报警的数学模型,其共性是建立在炼铁“专家知识库”基础上的基于集合论与数理逻辑的推理判断模型。可以用于高炉故障智能化推断的数学模型,我们主要应用了以下4种类型。

#### 2.2.3.1 基于专家知识库的产生式推理模型

这是在富有经验的高炉工长、炉长关于炉况异常征兆和炉况故障判断经验的基础上建立的数学模型。该模型既考虑相关的影响参数,同时也要考虑参数状态与炉况故障之间的关联规则。这样,我们建立了以下推断模型的一般表达式。

#### A 并行判断模式

根据工长的经验,分项列出各种可能的故障及其判断依据,按照各种可能情况进行二进制赋值。如:

(1) IF  $A(I) \geq a_i$ .AND.  $B(I) \leq b_i$  (如:“上层温度高且下层温度低”)  
THEN  $A(I) = 1$   $B(I) = 1$  (A层可能漏水或B层可能结厚)  
ELSE  $A(I) = 0$   $B(I) = 0$

(2) IF  $(C_1 - C_2)(C_2 - C_3) \geq 0$ .AND.  $C_1 \geq C_3$  (如:“温度连续下降”)  
THEN  $C = 1$  (C层结厚已经形成)  
ELSE  $C = 0$

(3) IF  $(x_{11} \geq x_1 \geq x_{10})$ .AND.  $(x_{21} \geq x_2 \geq x_{20})$ .AND.  $(x_3 \geq x_{31})$  (如:其他成分正常而某一成分异常)

THEN  $X = 1$  可能发生某种故障征兆(如:混合煤气  $\text{H}_2$  含量超值,可能有漏水)

ELSE  $X = 0$

(4) IF  $G_1(I) > G_2(I)$ .AND.  $G_3(I) > G_2(I)$  (如:煤气曲线呈倒钩状)

THEN G(I)=1

ELSE G(I)=0

#### B 综合判断模式

对以上 4 条独立判断,通过排列组合可以生成各种不同的故障情况及其判断,如:

(1) IF A(I)=1.AND.C=1.AND.X=1

THEN 很可能 A 层冷却壁漏水

ELSE 判断为其他若干种情况

(2) IF A(I)=1.AND.C=1.AND.G(I)=1

THEN 很可能 B 层某方向已经结瘤,导致煤气曲线呈倒钩状;

ELSE 判断为其他若干种情况,如热电偶失效等。

在以上两个层次的逻辑判断中,A、B、C、X、G 等代码代表故障的主要影响因素;各影响因素的判别式即是按照专家知识建立的逻辑判断规则。而 .AND., .OR., .NOT. 等则代表影响因素之间的“与”、“或”、“非”运算。如果满足这些条件,则得到“某炉况故障可能发生”的逻辑推理结论。

#### 2.2.3.2 基于概率论的事件发生概率推断模型

除了用产生式模型总结推断炉况故障发生的可能性外,也可以进一步按照导致故障发生的诸多条件的满足程度,计算故障发生的概率。以故障发生概率来数量化地描述各种炉况故障征兆的可能性,这种模型称为概率模型。“某炉况故障可能发生,其概率为 X%”,这是一种“天气预报式”的炉况故障征兆预报。我们可以把与故障密切相关的参数并列为故障发生的条件,得到故障发生的概率计算公式为:

$$\text{Prob} = n/N$$

这时,以故障发生概率数量化地补充说明“产生式”推断中不够明晰之处。

#### 2.2.3.3 基于小子样统计推断理论的智能化推断模型

在炉况故障征兆智能化预报中,可以按照小子样统计推断理论中的差异显著性检验公式,来数量化地对炉况故障征兆是否具有显著性特征给出科学判断。 $t$  分布统计检验公式是:

$$t_a = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sqrt{\frac{n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

查  $t$  检验表,当  $t_a \geq t(n_1, n_2)$  时,数据为显著性差异,即  $t_a \geq t_{a0}$  时,诊断为具有  $(1 - \alpha_0)$  水平的显著性差异。特别是当  $t_a > 2$  时,估计为 90% 的差异显著性。对于可实时检测的某些参数,当其数据的变化与正常值发生显著差异时,意味着炉况故障的征兆发生了。之所以选择  $t$  分布的小子样统计推断公式作为智能化推断依

据,而不是选择  $u$  分布等其他统计推断公式,这是为了提高系统判断的反应速度,在连续几次采样判断发生显著差异后,计算机即提出报警,有利于工长及时采取措施,消除故障。

#### 2.2.3.4 基于组合序列的推断模型

这是根据组合论对炉况故障发生可能性的逐级判断过程。

其原理可以通过案例进行说明。在一个黑屋中有 3 顶红帽子,2 顶白帽子。3 位聪明的警官甲、乙、丙从其中每人戴上一顶帽子,然后依次走出来。每一个警官都无法看到自己戴的是何种颜色的帽子。但是,乙警官可以看到前面甲警官的帽子颜色,丙警官则可以看到前面甲、乙两个警官的帽子颜色。于是按照顺序由丙警官首先判断自己所戴帽子颜色,然后乙警官判断,最后甲警官就能够准确无误地推断出自己所戴的帽子颜色。

在这个案例中,一种比较容易的答案是:当丙警官看到前面两位警官戴的都是白帽子时,他立即想到黑屋里只有 2 顶白帽子,现在都出来了,因此,他推断自己戴的一定是红帽子,其结论十分明确。丙警官给出的是“红帽子”的信息。而中间的乙警官,在看到甲警官帽子颜色与听到丙警官的判断结论条件下,当然也就十分明确自己戴的是白帽子了。他给出“白帽子”的信息。于是甲警官在这两个条件下,给出自己戴的是“白帽子”的组合推断。

这个案例的启发是:高炉内的炉况故障完全是在“黑盒”中发生的。目前还没有一次检测元件可以用来探测它,因此需要通过外部现象所包含的信息进行序列判断,得到比较准确的推断。

除了根据炼铁行家判断炉况故障经验外,还可以通过数学技术来进一步推断炉况故障的类型和征兆。

以上炉况故障的推断机制和程序,构成了“专家系统”的“推理机制”。在中小高炉的条件下,由于实时检测条件较少的限制,推理机制一般直接设计在程序中,即可完成某项炉况故障的诊断。对于大型高炉,由于相应的判断条件增多,因此综合判断就要复杂些。而需要注意的是专家知识库中的报警范围的设定,必须随着冶炼进程的发展作出自适应的调整。这样才能够实现计算机比较可靠的故障报警。

### 2.3 高炉过程控制的基础自动化与信息网络化

高炉工长在主控室对炉况、炉温作出分析、判断与决策,进行炉况或炉温的调整控制,是通过不同的工序来完成的。这些控制工序按照工长的指令完成所要求的调整措施。高炉冶炼过程的基础自动化,就是实施这些控制调整的硬件保障。它包括以下几方面:

(1) 槽下配料称量子系统的基础自动化;

- (2) 卷扬上料布料子系统的基础自动化;
- (3) 热风炉燃烧过程与富氧鼓风的基础自动化;
- (4) 喷煤子系统的基础自动化;
- (5) 炉前出铁出渣的机械化;
- (6) 化验室、过磅站等终端计算机的联网与信息网络化。

以下围绕着和高炉冶炼进程炉况与炉温调整中密切相关的参数,分别叙述这些控制环节的基础自动化与信息网络化对高炉过程控制自动化的作用与影响。

### 2.3.1 槽下配料称量子系统的基础自动化

槽下配料称量子系统是由一批料仓、皮带传送装置和称量系统组成。一般高炉都备有 30 多个料仓分别存贮着不同的入炉料:焦炭、烧结矿、球团矿、生矿、小焦、石灰石、萤石等。配料称量子系统的任务就是按照工长的指令,把各种炉料按照一定的数量配比和顺序称量出来,装入料车中,由卷扬上料布料子系统装入高炉。

高炉工长的配料计算——《炉料校核单》是槽下变料的依据。值班工长根据高炉的工况条件和入炉料的化学成分,确定大料批或小料批的矿批重,按照一定的熟料比、焦炭负荷、配料碱度、硫负荷的要求,计算确定炉料的组成比例和各矿种的批重:焦炭批重、烧结批重、球团批重和生矿批重以及必要时在一批矿中加入的石灰石或萤石量。工长根据炉温和渣碱度的发展趋势确定需要进行变料后,为寻求合适的配料方案要进行繁杂的配料计算,填写《炉料校核单》。一般工长完成一次变料的《炉料校核单》计算需要 20min。而交给槽下执行的控制指令,则只有装料顺序和各种矿种的批重。

如果按照每小时 5~7 批料的上料速度计算,配料系统每小时需要完成 10~14 车配料动作。如果没有机械称量系统的自动化,这样的配料任务是难以完成的。另一方面,在配料中,焦炭的水分波动对热平衡具有重要的影响。因此,配料系统的基础自动化一个重要环节就是焦炭水分的自动补偿。装料的顺序控制也是自动化环节的重要一环。同样重量的炉料,装料顺序不同即形成不同的装料制度,导致不同的冶炼效果。

装料顺序的自动控制、各种炉料称量的自动控制和焦炭水分的自动补偿控制构成槽下配料子系统的基础自动化控制的基本要求。其过程数据由 PLC 或 DCS 传送到高炉主控室的监控站,实现配料参数的集中监控。

### 2.3.2 卷扬上料布料子系统的基础自动化

卷扬上料布料子系统一般包括料车运行的控制,无钟炉顶左右料罐的装料控制(装料制度控制),无钟布料的角度控制(矿角、焦角、料流开度、布料转角设置如定点布料;扇形布料;环形布料及螺旋布料等布料参数控制)。如果是料钟式炉顶,那么布料控制就简单多了,没有布料角度的设置。

卷扬上料布料子系统的控制参数是由工长根据炉况设定的。工长根据炉喉煤气  $\text{CO}_2$  曲线或根据炉喉十字测温曲线的分布状态,或根据炉顶红外成像装置显示的图像,提出布料的控制方案;加重中心—发展边沿或加重边沿—发展中心等,装料制度与布料角度就要据此改变。并且根据炉料的行程状态确定料线位置。当探尺下降到指定料线时,就加入一批炉料。卷扬布料工序就是根据这些要求,一批接着一批地不断向高炉加入炉料,使高炉内的冶炼过程的化学反应持续不断地进行。卷扬系统的基础自动化就是由计算机控制料车的运行参数与无钟布料的角度参数。

卷扬上料布料工序与高炉主控室保持着密切的信息交流,每小时工长都要从卷扬岗位了解入炉的料批数,称为“小时料批数”。从入炉的料批数和原燃料化学成分,工长要计算出一炉铁水的理论铁量,用以指导出铁,避免铁量差过大导致炉温的剧烈变动。炉况异常时,工长需要通过料线位置的变化判断料速、悬料、崩料、坐料、管道等炉况故障的情况。卷扬上料布料的过程数据也通过 PLC 或 DCS 汇总到高炉主控室的监控站,实现上料布料参数的集中监控。

### 2.3.3 热风炉燃烧过程与富氧鼓风的基础自动化

一座高炉一般配置 3 座外燃式热风炉为其提供热风。提高热风温度,对高炉炼铁降低焦比有着重要的价值。3 座热风炉如何烧炉和如何供风以提高热风温度,这是热风炉的燃烧优化问题,是属于热风炉车间内部的工作。而按照工长的要求,保障风量、风温、风压、风湿以及富氧量、富氧压力的供给符合要求,则是送风作业的任务。

高炉工长根据炉况、炉温的发展状态,提出送风参数的调整要求。送风参数的变更是值班工长从高炉下部调剂炉况、炉温的最重要、最灵敏、也是最复杂多样的措施。送风参数的变更对当前的炉况和炉温发生直接的影响。工长对炉况和炉温的复杂变化状态判断要正确,措施要得力、要及时,才能够有效地保障炉况的顺行和炉温在正常范围内波动。在一般情况下,微调炉温可以适当调整风温或风湿。当炉内料速、透气性、煤气流状态显著变动时,送风参数必然随之而波动。当然,工长判断好炉况后也会主动进行变更调整。当料速不适当地过快时,工长必然要采取一定幅度的减风措施,以保持炉温不会发展成过凉,如此等等。因此,炉况、炉温的每一变动都会在送风参数上表现出来。

热风炉烧炉过程与送风自动化的任务就是保持送风参数的动态灵敏控制,以保障高炉冶炼过程的正常进行。送风参数集中监控在主控室高炉本体监控机上。

### 2.3.4 喷煤子系统的基础自动化

喷煤是高炉冶炼过程以煤代焦,节约能源成本和焦炭资源的重要措施。高炉喷煤子系统的基础自动化在喷煤车间。对喷煤速率即每小时喷煤量的控制是由工长电话通知喷煤车间执行的。喷煤子系统的基础自动化包括喷煤粉的加工、喷煤



罐的准备和喷煤罐的自动切换等部分。它保证了高炉喷煤过程按照数量要求连续地进行,而不会因喷煤量的波动影响到炉温和炉况的波动。喷煤车间与高炉主控室之间保持着控制信息交流。工长每小时都要从喷煤车间了解上一小时的喷煤量和当前的喷煤速率。工长通过喷煤速率的调整和配合以保证炉温控制在预期范围内。喷煤速率的调整是值班工长微调炉温的重要手段。通过对喷煤罐重量的采样,能够在监控机上通过软件计算形成喷煤速率曲线,并求得喷煤速率平均值。

### 2.3.5 炉前出铁出渣的机械化与信息采集

在传统炼铁工艺中,对炉前出渣、出铁状态的观察是高炉工长判断炉况与炉温是否正常的重要信息来源。

在炉前出铁作业中,铁口的角度与深度对于是否出净铁水有重要影响。开铁口角度过小,深度不够,都将使炉缸内的铁水无法出净。出铁的铁量差大,意味着留在炉缸内的铁水多,下一炉出铁就会多并且炉温 $[Si]$ 升高;反之,炉温会有所下降。因此,正点、正常地出渣、出铁也是影响炉况与炉温控制的重要参数。

在炉前出铁的适当位置安装红外测温仪自动测量出铁过程的铁水温度曲线,对于进一步深入判断炉缸热状态具有重要作用。炉缸温度既包括铁水 $[Si]$ 所反映的“化学温度”,也包括铁水本身的“物理温度”。通过两种温度的关联分析,能够对炉温和炉况作出更可靠的判断。而出铁过程的铁水温度曲线状态能够反映炉缸内部铁水的温度场是否均匀。根据温度曲线的初始位置与结束位置则可以推算出铁的开始时间和结束时间。如果没有铁水测温曲线,那么出铁开始时间与出铁结束时间这两项参数就需要靠高炉值班工长手工输入。

铁量差也是炉温控制偏微分方程中的一项重要参数。铁量差的自动计算也就成为炉温智能控制自动化计算的必要条件之一。

### 2.3.6 化验室、过磅站终端计算机的联网与信息网络化

高炉冶炼过程的控制是大时滞的预测控制,过程的各种信息因为涉及许多子系统、工序和辅助岗位,致使信息流转经常滞后。这种状况对于工长作出正确分析与判断,及时采取调控措施是十分不利的。在信息不完全条件下作出分析判断与决策,其控制失误的概率当然就比较高。

为了使高炉过程的控制模型能够建立在更精细数据计算的科学基础上,有必要使高炉在冶炼每一炉铁进程中的全部信息在尽量短的时间内汇总到高炉主控室的服务器上,为过程数学模型的正确运行打好基础。

质检站化验室承担着为高炉工长提供各种成分化验数据的任务。原来化验员通过电话把数据报送调度室和主控室的工长,这些数据包括焦炭、烧结矿、球团矿、生矿等原燃料的化学成分;也包括铁水、炉渣的化验成分等。这是高炉冶炼进程中除了自动采集的数据外,另一宗最大量、最重要的信息来源。这些信息与冶炼过程的各种工艺计算,包括物料平衡计算、热平衡计算、炉温预测计算等密切相关。因

此,实现化验室数据传递的信息网络化,提高信息传递的效率和正确性,对于冶炼过程智能控制数学模型的自动化运行是十分重要的。

铁水过磅站远离高炉。在铁水罐运输形式下,一炉铁水从高炉运送给炼钢厂炼钢,需要经过铁水罐重罐过磅、空罐过磅,最终才能够得到实际的铁水量。这期间大约需4~6h。因此,工长是在没有较准确的铁量差信息下进行下一炉的炉温控制的。为了使炉温控制偏微分方程及时自动运行,在过磅站未反馈较准确的出铁量数据前,有必要让工长在计算机上先输入铁水的估计重量。

与基础自动化一样,化验室化验成分数据、过磅站的计量数据的信息网络化,对于高炉过程智能控制的自动化是不可缺少的基础条件。

## 2.4 高炉冶炼过程的控制复杂性

### 2.4.1 控制复杂性的概念

从控制论角度考察高炉冶炼过程的控制复杂性,包含如下几方面涵义:

- (1) “炉温控制”概念完全不同于“温度控制”概念;
- (2) 冶炼过程能量消耗的非线性带来过程控制的非线性;
- (3) 炉温控制与炉况控制的交叉与运筹;
- (4) 实时控制与预测控制的交叉与运筹;
- (5) 调控参数、调控时间、调控力度的组合优化及调控优先级的确定;
- (6) 高炉过程运筹控制的命中率与成功率的检验。

### 2.4.2 炉温控制与温度控制的本质区别

在高炉冶炼过程控制中,“炉温控制”是最重要的控制。在普通矿高炉冶炼中,以铁水硅含量[Si]反映“炉温”。(钕钛矿高炉炼铁以[Ti]反映炉温)与传统控制理论中的“温度控制”概念不同之处在于:炉温控制不仅与提供的能量有关,而且与物理化学反应过程、流体力学过程有关。在高炉冶炼过程中有几十项重要参数影响着炉温控制的进程。

从冶炼过程不同阶段的焦比不一样可知,炉温控制的能耗是非线性的。在最佳炉温控制下,入炉焦比可降低到340kg/t。而炉温偏高时的焦比则达到400kg/t。因此,虽然上述(2.3.1节~2.3.5节)各子工序都能够调整控制炉温的变化,然而究竟在何种情况下,控制哪一个子工序为好,则是一个十分灵活而又充满经验的复杂问题。这是需要建立一系列过程的“专家知识”和“判别规则”,才能在此基础上建立计算机的智能化判断和计算,才能正确地确定控制参数、控制时间和控制力度。

### 2.4.3 炉温控制与炉况控制的交叉与运筹

炉温控制是高炉过程控制的基础与核心。炉温控制在正常范围中,高炉就顺行。如果炉温控制发生波动,以致形成过热或过凉趋势,则很容易诱发炉况故障。

因此可以说炉温控制的好坏直接导致炉况的变动;而炉况状态则决定着炉温控制模式。

在正常炉况下,工长只需对炉温的发展进行微调,即可满足高炉过程控制的要求。因此,炉况顺行时,炉温的控制相对比较单纯,是炉温的微调控制。一般高炉通过喷煤与风温的调剂来实现炉温的微调。但是,在正常炉温情况下,如果不能够预见炉温发展趋势,提前3炉对炉温的发展进行预测控制,那么炉温的微调控制根本无法改变炉温的向热或向凉趋势,到了看到炉温过热或过凉才开始采取措施,那么难免被拖入炉况故障的边沿。

更复杂的情况是,高炉的运行特点是在正常炉况下可能孕育着异常炉况的发生。例如,当炉温持续偏热发展时,炉内的透气性逐步变差,高炉受风能力变差,风压开始“冒尖”。这时,如果工长不注意及时调控,那么可能持续10min左右时间,高炉就会发生悬料事故。这就是高炉进程从正常炉况下向异常炉况的“突变”。对发生突变炉况征兆的正确判断并采取得力措施是维持高炉正常运行的前提和保障,也是对工长操作水平与经验的考验。

因此,如果是发生炉况异常征兆,如风压冒尖或发生悬料事故征兆,那么值班工长的操作与正常稳定运行时的情况完全不同,工长必须向热风炉车间发出紧急减风指令,以避免事故的发生。待炉况和送风参数逐步恢复正常时,又通知热风炉车间逐步恢复风量到额定值。此时,虽然是“没有风就没有铁”,但高炉操作的指导思想只能是“在保障安全前提下把损失减少到最小”。

#### 2.4.4 实时控制与预测控制组成的二步目标运筹控制

在炉温控制与炉况控制的交叉转换过程中,高炉过程控制的时滞是一个十分重要的变量。大时滞带来的预测控制问题是高炉过程控制不同于一般实时控制的一个突出特点和难点。因此,工长必须把实时控制与预测控制很好地结合起来,才能够达到炉温控制的预期目的。特别是通过变料来控制热平衡和炉渣碱度的发展,见效时间长达4~6h。如果没有预见性的控制,只是按照当前的正常炉温进行实时微调控制,待到炉子发生过热或过凉时才进行调整,那么必然为时已晚,炉况故障必然出现。有经验的工长在调控炉温中的对本炉炉温的实时控制和后2炉炉温的预测控制的运筹,就像下棋一样需要看三步,或像打台球一样既要把眼前的目标球打进,又要考虑主球下一步处于有利的位置。因此,炉温控制模型是实时控制与预测控制二步目标的运筹控制。

#### 2.4.5 调控优先级与调控3要素

人工经验下的炉温控制,对同一种现象或征兆,不同工长可能作出不同的判断结果,进行不同的控制决策。另一方面,对于同一种情况的控制,不同工长的控制方案,即所控制的参数和控制力度完全可能不同。这两方面的因素,带来了因人而异的操作效果。这是炉温控制的灵活性。

在考察高炉过程控制的灵活性中看到:为达到同一控制目标,选择不同的控制参数,在不同的时间和不同的控制强度,可以达到同样的效果。例如,改变炉温的发展趋势,既可以通过大幅度调控喷煤速率与风温来达到,也可以通过改变风量来达到。在一定的滞后时间下,也可以通过改变配料负荷来达到。

控制的灵活性和不同的控制方案带来技术经济指标在不同阶段的差别。虽然说高炉指标取决于高炉炉长、工长群体的操作经验与水平,但在某种意义上,技术经济指标在很大程度上受4个值班工长(4班3运转制度下)中操作水平最低的工长的影响(即经济学中的“木桶效应”)。这是因为一个值班工长的判断失误和控制措施失当造成的高炉炉况失常,它所影响的高炉生产进程不仅仅只是当班的几个小时,而是影响着相当长的一段时间的高炉进程,特别是炉况事故造成高炉冶炼行程的影响可以长达几天而难以恢复正常。

因此,在控制灵活性中必须经过目标优化以确定控制的优先级。即按照能够达到指标优化要求来选择控制方案。例如,在微调炉温中优先的控制策略是改变喷煤速率,其次是调整风温;在预测判断将形成炉温的向热(向凉)趋势情况下,优先采取的控制策略是变料,调整负荷或配料碱度;在透气性冒尖等炉况故障情况下,优先采取的控制策略是变更风量,如此等等。

伴随着控制优先级不同的措施,所调整的参数,在不同的调整时间为达到同样的效果,需要不同的调控力度;而同样的措施、同样的力度,也会由于调控的时间延误而失效。这些就是高炉冶炼过程灵活控制中所隐含的复杂性。其中最典型的情况就是当炉况出现恶化的苗头时,由于工长措施不力而导致悬料等事故发生。所谓“措施不力”,一是时间不及时,二是措施的力度不够。

因此,我们把炉温调控中的调控参数  $H_i$ , 调控的时间  $t_i$  和调控力度  $\frac{\partial H_i}{\partial t}$  这3个要素组成的向量  $G_i = (H_i, t_i, \frac{\partial H_i}{\partial t})$  称为调控向量。必须从调控向量角度才能够分析、比较各种调控措施的效果和优劣。

#### 2.4.6 高炉冶炼过程复杂性的非线性机理探索

人们在探索高炉过程自动化控制中,建立了各种各样的数学模型,包括各种工艺机理模型、各种数理统计模型、时间序列模型、样本空间模型、经验模型,以至各种专家系统模型等等。在工艺机理模型研究中,包括各种微观的反应动力学模型、反应热力学模型;宏观的高炉分区热平衡模型等等。然而,当在过程控制中应用这些模型时,立即遇到这些模型参数在实际高炉冶炼过程中的“可观测性”、“可计算性”与“可控性”的问题。

以高炉冶炼过程能量的非线性消耗的控制问题研究为例,从工艺机理出发研究,不仅要考虑传统的热平衡与物料平衡的能量消耗,考虑冶炼过程的反应热力学与反应动力学中的微观能量消耗,而且需要考虑冶炼过程的气—液—固三相流体

力学带来的能量消耗。

高炉内的主要化学反应多达 108 种,在高炉轴向与径向的不同空间部位发生着这些反应。从微观角度分析,高炉内部发生着天文数字般的化学反应过程。这些不同的反应,发生在何处,能量消耗如何,反应物与生成物各几何,放热或吸热对周围温度场的影响如何,如此等等。显然,从微观角度看这些反应过程既无法观测,也无法计算,更无法局部调控。失去自动控制的基础。

进一步考察高炉内的气体—液体—固体三相流体,这是可压缩的、有黏性、非连续的流体。由于化学反应的大量发生,流体的气相与固相之间存在大量转换,固体炭作为还原剂生成  $\text{CO}$  或  $\text{CO}_2$ ;炭的熔损反应中气体体积加倍等等,因此高炉内的流体是既有“源泉”也有“渗井”的流体。于是,流体力学的三大方程:连续性方程、运动方程和物态方程均成为非线性偏微分方程。在炉况异常情况下,气流在炉内形成某种湍流,这种湍流既要消耗能量,也要破坏炉况的顺行。从流体力学角度研究的高炉过程机理同样存在无法检测、无法计算与无法局部控制的问题。

综上所述可以得知,在实验室单纯条件下所得到的微观机理模型研究的数量化结论,在大生产中遇到了无法检测、无法计算和无法控制的三大难题,因此限制了实验室机理模型在实际过程控制中应用的可行性。在实际控制模型研究中,机理模型是以其理论指导价值发挥着作用,指导着宏观运筹控制数学模型的构造。我们依据机理模型的指导,在实际计算中更多地考虑宏观统计特性对过程随机控制的影响,从而得到拟合实际生产过程的宏观统计规律,指导生产达到优化的效果。

## 3 高炉过程自动化的控制理论基础

### 3.1 从传统控制理论到智能控制理论

虽然中国人远在两千多年前就有制造木质自动化机械的故事记载,而西方从瓦特发明蒸汽机在飞球调节器设计中就应用了自动控制原理,但是人类真正建立经典控制科学理论体系,是直到20世纪30年代以后才开始的。

自动控制理论是随着人类社会工业化的进程而不断发展的。控制理论从经典控制论发展到现代控制论,大约发展了30年。20世纪60年代以后,随着电子计算机与空间技术的发展,诞生了以多变量控制为特征的现代控制论。现代控制论应用于航天、国防高精尖技术取得了杰出的成就。经过20多年的发展和进步,现代控制论面对着更复杂的社会系统、工业系统和机器人系统,又迈上建立智能控制理论的征程。从智能控制论萌芽到智能控制技术生产出智能化工业产品至今也不过10多年。

工业技术的蓬勃发展提供着创造新理论的源泉。新的理论需要解决老的理论中无法解决的问题,这是科学技术发展的规律。20多年来人们提出高炉冶炼过程自动化控制的技术难题以及对其研究的逐步推进、取得进展的过程,正是伴随着自动控制领域从现代控制论到智能控制论的发展过程。因此,我们要想巧妙地最终解决高炉冶炼过程自动化控制难题,就必须遵循这个规律去研究解决问题的新理论与新方法。没有在传统控制理论基础上的理论创新,没有深入解析高炉冶炼过程规律基础上,建立新的控制模型与控制方法,是无法解决高炉炼铁自动化难题的。

本章将按照这种规律性去探索、研究高炉冶炼过程自动化的控制理论基础。

#### 3.1.1 经典控制论的基本问题及其实现的控制

人们把20世纪60年代以前发展起来的建立在传递函数或频率特性的动态系统分析与综合的方法称为“经典控制理论”。

经典控制论研究和解决的问题是线性系统单输入—单输出问题,即处理单变量常系数系统,解决单输入单输出的控制问题。系统模型用传递函数表示,系统分析与综合的方法是根轨迹法与频率法。

经典控制理论的主要成就是PID调节器的成功应用。比例控制(Proportional)、积分控制(Integral)与微分控制(Differential)为生产过程的自动化控制发挥了

巨大作用。

经典控制论是这样描述一个控制系统的,一个控制系统的输入  $u(t)$ 、输出  $y(t)$  与内部状态之间的关系可以用状态方程  $\dot{x}(t)$  和输出方程  $y(t)$  来描述:

$$\text{状态方程} \quad \dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) \quad (3-1)$$

$$\text{输出方程} \quad y(t) = Cx(t) + Du(t) \quad (3-2)$$

在经典控制论中研究的反馈控制系统,其闭环控制的传递函数(整体传递函数)是:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{G(s)}{1 + G(s)H(s)} \quad (3-3)$$

高炉冶炼过程的基础自动化控制问题,例如槽下配料称量系统的自动化控制;喷煤系统的喷煤速率自动化控制;送风系统的风量、风温、风压、富氧量的自动化控制等单项控制问题,都是属于经典控制论的单输入—单输出控制问题。在高炉工艺基础自动化改造中,这些子工序的自动化控制问题已经解决了。

### 3.1.2 现代控制论的基本问题和成就

1960 年以后伴随着计算机技术和数值计算技术的提高而发展起来的现代控制理论是以状态空间理论为基础的。其基石包括 Понтрягин 最大值原理, Bellman 动态规划和 Kalman 滤波与控制理论。在此基础上发展起来最优控制、系统辨识、最优估计以及自适应控制等理论和技术。60 年代到 90 年代是现代控制理论的发展成熟期,现代控制论处理大量的非线性系统的计算,使工业系统过程、宇航火箭和社会经济系统的控制水平大为改观。

由此可以看到:自动控制理论的发展是与现实的技术水平密切联系的。

现代控制论包括系统辨识和参数估计两个相互关联的领域。现代控制论在经典控制论基础上显著不同的标志性发展概括有: R. E. Kalman 创立的动态系统的状态空间表示法,通过把高阶常微分方程转换成一阶微分方程组,建立状态空间的方法,解决了系统的多输入—多输出问题; Kalman 滤波器的建立; R. Bellman 建立的动态规划与最优原理的应用; 以及模式识别与自适应控制,随机反馈控制,预测控制等方法与概念。现代控制论成为与数学中的运筹学、最优化等分支相互渗透、密切交叉的学科。现代控制论发展着数学,数学为现代控制论提供着新的工具。

现代控制论研究的内容可以归纳为如下 5 个基本问题。

#### 3.1.2.1 最优控制问题

最优控制问题是如何按照给定的目标  $J$  来确定一个控制函数  $u(t)$ 。

给定一个受控系统,  $u(t)$ ,  $x(t)$ ,  $y(t)$  分别为输入函数、状态函数和输出函数,它们均为向量。  $Q_0, Q_1, Q_2$  为权矩阵,  $K(t)$  为增益矩阵,  $t_0, t_f$  分别为控制过程的开始时间和结束时间,于是建立受控系统的状态方程为:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}(t)\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}(t)\mathbf{u}(t) \quad (3-4)$$

其离散化状态方程记之为:

$$\mathbf{x}(k+1) = \phi(k+1, k)\mathbf{x}(k) + H(k)\mathbf{u}(k) \quad (3-5)$$

线性二次型的最优控制问题和离散化方程分别是:

$$J = \mathbf{x}^T(t_f)\mathbf{Q}_0\mathbf{x}(t_f) + \int_{t_0}^{t_f} [\mathbf{x}^T(t)\mathbf{Q}_1\mathbf{x}(t) + \mathbf{u}^T(t)\mathbf{Q}_2\mathbf{u}(t)]dt \quad (3-6)$$

$$J = \mathbf{x}^T(l)\mathbf{Q}_0(l)\mathbf{x}(l) + \sum_{k=0}^{l-1} [\mathbf{x}^T(k)\mathbf{Q}_1(k)\mathbf{x}(k) + \mathbf{u}^T(k)\mathbf{Q}_2(k)\mathbf{u}(k)] \quad (3-7)$$

最优状态的反馈控制律是:

$$\mathbf{u}(t) = -\mathbf{K}(t)\mathbf{x}(t) \quad (3-8)$$

在上述受控系统中,状态的“能观性”和“能控性”是系统能够实现最优控制的先决条件。特别是对于高炉冶炼过程这样的多输入—多输出系统,输入参数与输出参数的能观性与能控性的确定,直接关联着数学模型的可操作性问题。许多在国外大高炉使用的数学模型,在国内高炉上不能使用,就是由于装备水平的差距,特定参数的能观性、能控性失效,因而使原本有效的数学模型完全失效。

### 3.1.2.2 最优状态估计问题

最优状态估计问题是如何从受到随机干扰的输出  $\mathbf{y}(t)$  来求状态向量  $\mathbf{x}(t)$ 。

在上述受控系统中,输出  $\mathbf{y}(t)$  常常受到检测系统的噪声  $\mathbf{v}(t)$  的干扰。同时,输入噪声  $\mathbf{w}(t)$  也要影响到输出  $\mathbf{y}(t)$ 。如何从  $\mathbf{y}(t)$  中尽可能消除  $\mathbf{v}(t)$ 、 $\mathbf{w}(t)$  的影响来估计状态  $\mathbf{x}(t)$  的问题,称为最优状态估计问题。最优状态估计的离散化方程表达式是:

$$\begin{aligned} \mathbf{x}(k+1) &= \phi(k+1, k)\mathbf{x}(k) + \mathbf{r}(k)\mathbf{w}(k) \\ \mathbf{y}(k) &= \mathbf{c}(k)\mathbf{x}(k) + \mathbf{v}(k) \end{aligned} \quad (3-9)$$

如果已知干扰  $\{\mathbf{w}(k)\}$ 、 $\{\mathbf{v}(k)\}$  的统计特性,那么就可以从输出  $\{\mathbf{y}(k)\}$  来估计  $\{\mathbf{x}(k)\}$ 。

最优估计问题包含:预测问题,滤波问题和平滑问题。高炉冶炼过程的炉温预测控制问题,属于一步(或多步)预测控制问题(与高炉容积大小有关)。如何建立数学模型预报炉温[Si]并且使其一步预测的命中率满足生产实用要求,这是一个数学模型难题。特别是在中小高炉原燃料质量稳定性相对差的条件下,[Si]的一步预测控制更为困难。从数学角度可以证明:简单地、无条件地追求[Si]的数值预报命中率达到90%以上,在数学上是“不可行”的。只有原燃料质量稳定性与操作稳定性的改善相配合,预测模型才能够实现数值预报命中率达到90%以上。



### 3.1.2.3 随机最优控制问题

随机最优控制问题是如何从一个受到随机干扰的系统按照给定的目标  $J$  确定一个控制函数  $u(t)$ 。

在随机最优控制问题中,有一类比较成熟的线性二次型高斯控制问题(LQG问题)。其系统状态方程和量测方程分别是:

$$x(k+1) = \Phi x(k) + Hu(k) + w(k) \quad (3-10)$$

$$y(k) = cx(k) + v(k) \quad (3-11)$$

目标函数则是:

$$E[J(u)] = E[x^T(l)Q_0(l)x(l) + \sum_{k=0}^{l-1} (x^T(k)Q_1(k)x(k) + u^T(k)Q_2(k)u(k))] \quad (3-12)$$

在 LQG 问题中,通过 kalman 滤波技术从系统输出  $y(k)$  求状态  $x(k)$  的估计值  $\hat{x}(k)$ , 然后按照公式  $u^*(k) = -L(k)\hat{x}(k)$  求得状态反馈最优控制律,即应用“分离定理”进行求解。然而,实践证明简单地套用分离定理求解高炉冶炼过程的随机最优控制是无效的。其原因不仅仅是原燃料化学成分等众多输入参数的随机波动影响,更在于过程状态中随机干扰的特殊性。因此,我们必须另外建立随机最优控制的计算方法。样本空间模型和二元分布模型的计算给出了高炉过程随机最优控制的解。

### 3.1.2.4 动态系统辨识问题

动态系统辨识问题是如何从动态系统的输入和输出求系统的方程。

上述最优控制、最优状态估计和最优随机控制问题中,系统的数学模型假设为已知。然而,实际高炉过程的最佳状态与随机最优控制的确定过程,也就是要求建立最适合的控制函数  $u(t)$  和输出函数  $y(t)$  的数学模型过程。这一大类问题就称为“动态系统辨识问题”。

当系统模型的结构已经确定,应用输入  $u(t)$  和输出  $y(t)$  来确定其参数的,就称为“参数估计问题”。而同时需要确定模型结构和参数的问题,则泛称“系统辨识问题”。

建立系统数学模型的目的就在于用它来求解最优控制规律。

当然,在众多最优化方法的应用中,也包括一类未能建立起完整的系统数学模型,但是却可以求解最优控制规律的计算方法,称之为直接算法。这种最优化处理方法在实际复杂问题的应用中是十分重要的。本书采用的最优化算法就属于直接算法。

### 3.1.2.5 自适应控制问题

自适应控制问题是如何应用各种各样的系统动态特性辨识方法来实时调整控

制规律以求得最优控制。

所谓“自适应控制问题”,是指为系统建立的在线运行的数学模型,其模型参数将随着系统的发展而需要在线辨识,系统的优化控制规律也将按照更新的数学模型参数而调整。显然,自适应控制的种类和方法是多种多样的,需要根据实际控制问题的控制速度和精度的要求建立适当的自适应控制模型。

上述5个方面基本问题都是在研究高炉冶炼过程自动化控制数学模型中需要深入研究解决的问题。我们看到:在已经建立的许多以工艺机理为基础的数学模型中,由于高炉冶炼过程的复杂性和“黑盒”性,导致模型参数的“能观性”和“能控性”不能实现,因而使数学模型失效。因此,在选择和建立工艺机理模型时,我们必须充分地把握现代控制论中的“能观性”和“能控性”概念的要求,避免由于参数无法检测而使机理模型失效。

### 3.1.3 非线性控制系统的“能观性”与“能控性”

所谓“能观性(可观测性)”就是:如果一个系统的初始状态  $x(t_0)$  可以通过对系统的输出  $y(t)$  在有限时间区间  $[t_0, t_1]$  内的观测来决定,就称该系统在时刻  $t_0$  是可观测的。

“能控性(可控制性)”是指:如果对系统的任意状态  $x(t_0)$ ,存在一个有限的时间区间  $[t_0, t_1]$ ,可以选择在此区间内适当的输入  $u(t)$ ,使  $x(t_1) = x_1$ ,就称该系统在时刻  $t_1$  是可控的。并且当系统在定义的时间区间内的任一时刻都是可控的,那么就称这个系统是“完全可控的”。

显然,实时的“能观性”与“能控性”对于实现高炉过程的优化控制是十分重要的。而高炉炉温[Si]的控制问题缺乏的正是实时的“能观性”与“能控性”。对它的控制需要通过建立有效的智能变换方程才能够实现。有关内容将在本书上篇第5章中详细讨论。

在经典控制论中,由于单输入—单输出直接就是量测与控制的对象,因此不存在“能观性”与“能控性”问题。但是在现代控制论中,多变量输入和多变量输出中,并非每一变量都是可观测的。特别是状态函数作为输出函数的复合函数,就发生了许多变量是否可以量测的问题。另一方面,许多输入影响到过程的状态,但却是无法直接控制的。如果所建立的工艺机理理论模型或其他数学模型存在不可观测和不可控制的问题,这样的模型在实际控制中就是不可行的。在探索高炉冶炼过程自动化控制模型中,这类数学模型自然不予考虑。

## 3.2 智能控制理论的发展与应用

### 3.2.1 智能控制论的由来

经典控制论和现代控制论统称“传统控制理论”。面对现代日益复杂的工业系统和社会经济系统中高度非线性、不确定性、时变性等控制问题,传统控制理论在

新的复杂挑战面前不能解决问题。像高炉过程自动化控制这样的复杂问题,局限于传统控制理论思路就无法推进。于是,控制理论发展到一个新的阶段:智能控制论。高炉专家系统的建立就属于智能控制论在高炉过程控制的应用。

1965年美国著名控制论专家 Zadeh 创立了模糊集合论,为解决复杂系统的控制问题提供了强有力的数学工具。20世纪60至70年代,美国专家 Feigenbaum 研制了世界第一个“专家系统”;而美籍华人科学家傅京孙则首先把人工智能中的直觉推理方法用于“学习控制系统”——自适应系统,进而创立了人机交互式分级递阶智能控制的系统结构。80年代以后,神经网络算法、遗传算法、退火算法等智能化算法的建立进一步推动了智能控制的发展。

### 3.2.2 智能控制论的“三元交集”

关于智能控制论的基本概念和研究内容,可以用“三元交集”公式表示如下:

$$IC = AI \cap OR \cap AC \quad (3-13)$$

式中,IC 代表智能控制(Intelligent Control);AI 表示人工智能(Artificial Intelligent);OR 表示运筹学(Operation Research);AC 表示自动控制(Automation Control)。

智能控制论所研究的智能控制系统除一般控制系统所包含的数学模型结构外,还包括数据库、专家知识库、推理机和人机交互界面等智能信息处理单元。

### 3.2.3 智能控制论面临的复杂性

智能控制论所研究的对象与系统更具复杂性。它是在开发传统控制理论不能解决的实际控制问题中诞生的,是伴随着计算机在线应用功能更加强大,工业系统的过程控制规模更加庞大、复杂而诞生的。其主要特征有:

(1) 系统的非确定性特征。过程存在大量随机变量,是参数分布系统而不是确定性的辨识系统。众多影响参数,包括控制变量既是确定性的,同时也是随机波动的。其控制特性是随机控制,而不是确定性控制。

(2) 系统的强烈非线性。即系统的非线性不是传统的分段线性逼近方法所能够概括的。

(3) 系统的复杂目标要求。即系统不仅仅是一般的多目标要求,不是传统的定值控制系统(调节系统)或轨迹控制系统(跟踪系统),与那种目标单一要求相比,目标随系统状态的变动而改变。

(4) 系统控制的时滞性。系统控制的效果经过很长时间才能测量到,即“大时滞系统”;由此导致系统的成功控制不是简单的实时反馈控制,而必须是预测控制。并且可能发生实时不可控现象。由系统的正常状态“突变”成故障或事故状态。

(5) 系统控制的复杂性。众多可控参数的调控均可影响目标函数的变化,带来控制选择的复杂性;在不同的系统状态下,选择调控的参数不同;不同参数调控的效果,对目标函数影响的时效性不同;在一定条件下有效力度的调控,会因时机

延误而无效。如此等等。

智能控制模型包含决策论模型、模糊控制模型、神经网络控制模型、“专家系统”、样本空间模型等。

### 3.2.4 高炉“专家系统”面对智能控制论

高炉炼铁自动化数学模型的研究进程与自动化学科向智能控制论的发展进程几乎是同步推进的。在历经 20 多年高炉数学模型研究而未能解决高炉冶炼过程完全自动化控制问题之后,20 世纪 80 年代以后高炉炼铁过程控制的研究进入了“专家系统”的开发时代。在各种类型的“高炉专家系统”中,建立了基于“炼铁专家知识”的“炉况诊断系统”。高炉数学模型结构也从数量模型发展到数理逻辑模型和模糊数学范畴。高炉过程的人工智能、模糊控制、数理逻辑、神经网络等方面的研究进展为智能控制论提供了工业实践的丰富源泉。

尽管智能控制理论还在不断地发展之中,“高炉专家系统”还在不断发展完善之中,但是,一个基本认识现在越来越清楚:高炉过程的自动化,是在基础自动化完成条件下,工长智力劳动过程实现自动化,是工长控制决策过程的自动化。同时又是以炉温控制为核心的多元控制自动化,又是操作-技术-管理“三位一体”的自动化。高炉冶炼过程的智能控制自动化系统完全不同于单纯的线性反馈控制自动化系统,或多元非线性反馈控制的自动化系统。只有把高炉过程各子工序的基础自动化、高炉过程的信息网络化与高炉智能控制自动化有机结合起来,才能够实现高炉过程的完全自动化控制。

## 3.3 从自动控制理论基础思考高炉炼铁自动化难题

回顾高炉冶炼过程自动化控制难题 30 多年研究历程,使我们有必要从自动控制理论与控制技术的基础进行深入的思考。

(1) 首先,高炉过程自动化问题是一个复杂的系统工程。这个系统工程包含着 3 个层次的自动控制课题。其一是建立在经典控制论基础上的基础自动化层次,包括配料系统的自动化;上料布料系统的自动化;综合鼓风的自动化和喷煤系统的自动化等。其二是建立在现代控制论基础上的,以冶炼过程动态优化与炉温预测控制模型为核心的多目标多变量优化控制。在高炉主控室建立计算机局域网,实现各子系统信息与主控室服务器联网,是推进炉温预测控制的必要条件之一。其三是建立在智能控制论基础上的“高炉专家系统”的应用。它需要建立包括炼铁厂管理办公系统在内的整个铁区的信息化与网络化。只有这 3 个层次控制理论的合成与综合应用,特别是现代控制论与智能控制论的交叉综合应用,才能够实现高炉冶炼过程的智能控制自动化。把炉温 $[Si]$ 的数值预报作为孤立的模型研究是不可能实现冶炼过程的闭环控制自动化的。

(2) 其次,在深入应用现代控制理论与智能控制理论的各种方法,建立冶炼过

程多目标-多变量优化控制方面,需要深入开发新的模型技术。回顾过去二三十年中围绕高炉冶炼过程所建立的上百种数学模型,包括众多的机理模型、各种经验模型、数理统计模型、时间序列模型、多元回归模型、最小二乘模型、神经网络模型、人工智能模型等等,从控制技术的“能观性”“能控性”角度予以审视,特别是结合我国高炉的基本装备水平和原燃料条件予以考察,很容易看到:许多机理模型不具备生产实践的“能观性”与“能控性”。尽管建立机理模型是有科学理论基础的,也是炼铁专业人员的愿望,但是,微观的机理模型如果不与宏观的数理统计模型相结合,缺乏“能观性”与“能控性”的机理模型对于实现自动化控制是无效的模型。我们必须从高炉第一线工长成功实现炉况顺行、炉温符合要求的控制实践中,总结、开发出具有“可操作性”的数学模型。这方面研究工作薄弱的原因,在于许多研究工作没有能力从高炉生产中在线取得冶炼过程的基本动态数据和比较完备的信息,因而也就没有能力从在线数据分析中建立起多目标-多变量的优化控制模型。

(3) 从现代控制论 5 大基本问题的研究方法中,从智能控制理论中,我们必须认识到高炉过程自动化控制难题的全面概括是:高炉冶炼过程的自动化控制是大时滞的、随机可控的、多目标-多变量的智能控制自动化。因此,其完整的数学模型系统工程必须包括:

- 1) 建立高炉冶炼过程的多目标优化模型(输出向量  $y(t)$ );
- 2) 确定高炉过程的状态函数(状态向量  $x(t)$ ),并且按照“能观性”和“能控性”的要求建立状态函数的变换函数。
- 3) 建立状态空间的优化模型(样本空间模型方法),确定高炉系统的最佳状态。
- 4) 建立冶炼过程优化状态下的预测控制方程,建立起状态变量、控制变量与炉温[Si]相联系的偏微分方程及其神经网络算法;
- 5) 建立不同优先级的多阶段控制决策;实现冶炼过程智能控制自动化。
- 6) 建立设备安全监控与报警模块,炉况故障征兆预警模块和炉况故障报警模块,从而有效地避免炉况异常状态,实现在正常炉况下的随机最优控制。

(4) 在高炉主控室建立微机局域网,使操作者能够集中监控高炉过程参数,采集高炉过程全面的信息。这为建立符合生产实际的多目标-多变量优化数学模型提供了基础。计算机技术的不断进步,包括运算能力与存贮能力的大幅度提高,服务器与网络技术的完善,系统可靠性大大提高等方面,都为全面监控高炉冶炼过程、在线完成优化计算提供了良好的条件。信息化与网络化使原来无法达到的“能控性”成为可行,使智能控制的自动化成为可能。因此,追踪计算机网络技术进步,建立智能控制自动化的新方法,开发低成本的硬件与功能全面的软件系统,是最终实现高炉冶炼过程自动化的物质基础。

## 4 高炉过程数学模型的复杂性

### 4.1 高炉冶炼过程的多目标系统优化模型

#### 4.1.1 高炉过程的物质流与信息流分析

高炉生产过程是物质流的加工变化过程,是把烧结矿、球团矿、生矿等矿石和焦炭、熔剂等原燃料,经过称量装置以一定的配比和数量,通过料车运送和无钟布料等方式装入高炉,在富氧、鼓风、喷煤等动力能源条件下,生产出符合炼钢质量要求的铁水。同时各种杂质也生成了炉渣。

伴随着物质流过程,生产过程记录的各种数据和信息也随之产生。随着时间的推移,记录在高炉仪表和《高炉作业日志》等记录表中的数据组成一个庞大的数据资源库。这些数据与信息反映了生产过程各种操作、各种参数之间的关联,也隐含着它们对技术经济指标的影响规律。

从系统分析(SA, System Analyses)角度来考察这些原始记录数据,就会看到:在工艺上采取各种措施改善物质流和生产指标的同时,生产过程的信息流也随之发生了变化。因此,生产过程的数据库不仅仅是物质流生产过程的一个静态记录,而且是人们改进操作控制的动态记录,是可供人们从中挖掘改善物质流和指标的信息资源库。与有形的物质流相比,无形的信息流不仅包含着对应的物质流质量、数量等方面特征,而且包含着物质流运动和加工变换过程的优化信息。本书根据炼铁工艺特性建立的各种数学模型,其目的就是为了挖掘这些数据库中隐含的优化信息和规律,建立高炉过程实用的智能控制系统。

#### 4.1.2 高炉过程参数的层次结构分析

把炼铁生产过程依时间  $t$  不断变化的信息流按照物质流的不同状态分解成 4 大类变量:原燃料变量(即输入变量)  $Y(t) = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ ; 状态变量  $X(t) = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ; 控制变量  $u(t) = (u_1, u_2, \dots, u_p)$  和目标函数  $M(t) = (m_1, m_2, \dots, m_q)$ 。它们的组成参数和相互关联的数学模型结构如图 4-1 所示。

图 4-1 中,顺行箭头是物质流及其伴生的信息流的流向,逆行箭头则是信息流的反馈。装入高炉的原燃料变量  $Y(t)$ ,在控制变量  $u(t)$  作用下,形成一定的过程状态变量  $X(t)$ 。高炉的过程状态变量有两类:Ⅰ类状态变量  $X_I(t)$  是可以在线实时检测的状态参数,如炉体温度场各部位的温度、压力等,能够连续采样得到数据;Ⅱ类状态变量  $X_{II}(t)$  是无法直接检测,但是可以间断检测的状态参数,如铁

水、炉渣的化学成分,只有在出渣、出铁后,通过取样化验才能够得到化验数据,因此是间断采样的变量。状态变量直接决定着高炉生产的最终指标水平,包括质量、产量、消耗和炉况平稳等项指标。

由于高炉生产过程的连续性和出铁出渣的间断性这一特征(一般高炉为120min出1炉铁),我们首先建立过程状态变量 $X(t)$ 与目标函数 $M(t)$ 的映射关系, $X(t) \rightarrow M(t)$ ,然后建立状态变量 $X(t)$ 与原燃料变量 $Y(t)$ 及相应的控制变量 $u(t)$ 的动态关系, $Y(t) \xrightarrow{u(t)} X(t)$ 。通过这样的递推关系 $Y(t) \xrightarrow{u(t)} X(t) \rightarrow M(t)$ ,最终建立起高炉过程的动态优化控制。

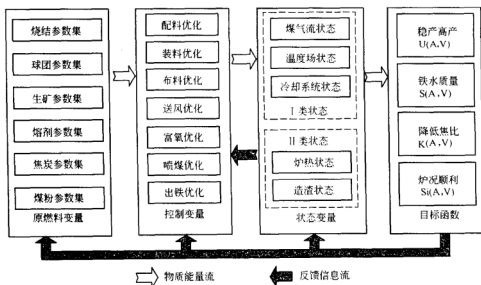


图 4-1 高炉冶炼过程变量关联图

### 4.1.3 高炉过程信息流的数据融合

高炉工艺过程复杂性在信息流方面还表现在不同子工序记录的各种数据时间尺度不同(即数据采样频率不同);生产过程目标函数与原燃料变量、控制变量之间的对应关系存在着非线性的时间滞后量。这样就给建立数据库,进行信息流的整合带来十分复杂的情况。于是提出了系统分析中的数据融合问题。

#### 4.1.3.1 高炉过程优化中使用的各种不同时间尺度的原始数据

(1) 以3~5s为周期在线采集的“秒级数据”。高炉本体各种温度、压力数据及风量、风温、风压等均为此类数据;秒级数据用于设备安全报警与炉况异常报警。秒级数据整合为分钟级数据存入分钟级临时数据库。

(2) 以3~5min为周期汇总的用于高炉炉况顺行状态诊断的“分钟级数据”,分钟级数据库整合为小时级数据,存入小时级数据库,在数据库中长久保留。

- (3) 以 1h 为周期汇总的“小时级”数据,如喷煤速率,压力,小时料批数等;
- (4) 以每炉铁(约 2h)为周期记录的各种参数,如铁水、炉渣化学成分等;
- (5) 以每班(8h)为周期记录的各种参数,如烧结矿、焦炭等入炉料化检验成分以及冷却水温度、压力等;
- (6) 以“批”为时间尺度记录的参数,如变料的起始批次等。每班上料约 120~180 批不等,因大料批与小料批而不同,因此每批料的时间约 8~12min;
- (7) 以每天为周期记录的参数,如炉喉煤气采样(每天采样 2 次),球团矿成分(每天 1 次采样分析)等。

#### 4.1.3.2 以炉次的时间作为统一的时间尺度进行数据融合

尽管原燃料变量  $Y(t)$ 、控制变量  $u(t)$ 、状态变量  $X(t)$  和目标函数  $M(t)$  各有自己的采样时间尺度,而从系统分析观点看,各种参数的影响最终都要汇总到它们对指标的影响上,建立起数据之间的前因后果关系。数据融合的目的是要建立起原燃料变量-控制变量与状态变量之间的关系  $X(t) = F_1(Y(t), u(t))$ ,建立起状态变量与目标函数之间的关系  $M(t) = F_2(X(t))$ ,因此,我们建立了以炉次的时间作为标准的时间尺度,整个系统分析依此展开。

为此,我们需要建立以下两个定义。

**定义 1** 1 炉铁的冶炼时间  $tt_2$ (单位:h)

第  $n$  炉铁的冶炼时间  $tt_2$  是指从上一炉(第  $n-1$  炉)出铁结束(完成堵铁口时间)到本炉(第  $n$  炉)出铁结束之间的间隔时间,即第  $n$  炉铁的冶炼时间。此时间可以由炉前铁水自动测温的铁水温度曲线自动确定。

**定义 2** 小时出铁量  $Feh$ (单位:t/h)

第  $n$  炉铁的小时出铁量是指出铁量  $W_n$  与其冶炼时间  $tt_2$  之比,即:

$$Feh = W_n / tt_2。$$

小时出铁量  $Feh$  反映了一炉铁冶炼期间铁元素的还原速率。根据小时出铁量计算公式,我们可以得到高炉的利用系数  $U$  与小时出铁量  $Feh$  之间的函数关系式:

$$U = 24Feh/V \quad (4-1)$$

式中,  $V$  是高炉的容积。

根据这一公式变换,我们可以把对高炉利用系数的优化变换成对小时出铁量的优化。从而为数理统计分析建立了精细分析的数据基础。例如,对  $1200m^3$  高炉,其利用系数等价关系式是:  $U = 0.02Feh$ 。因此可以对每一炉铁估计其利用系数,从而把对日利用系数的考察细化为每炉利用系数的数理统计分析,找出利用系数的优化规律。

根据定义 1,当 1 炉铁前后跨越的时间段如果为  $tt_2 = t_1 + t_2 + t_3$ ,而  $t_1, t_2, t_3$  分属于 3 个不同的钟点,则该炉所对应的控制变量的加权平均计算公式是:



$$u(t) = (u_1 t_1 + u_2 t_2 + u_3 t_3) / (t_1 + t_2 + t_3) \quad (4-2)$$

各种实时控制变量的改变对于本炉状态的影响则按照上述公式建立关系式；对于变料条件下的炉料计算，则需按照扣除正常时滞后的加权平均建立原燃料条件的对应关系。

#### 4.1.4 高炉过程参数的滤波分析

在高炉某一炉铁冶炼过程中，从上料作业开始至出铁作业完成期间干扰与影响因素众多。其输入参数与输出参数之间的数值对应关系存在着各种偏差的干扰。例如，由于出铁时打铁口的角度、深度偏差，本炉铁水没有出净，留给了下一炉出铁。这时由入炉原燃料成分计算得到的理论出铁量与实际出铁量就要出现铁量差。而从原燃料的化验数据报送到高炉控制室，到原燃料入炉，再到成为炉渣、铁水放出来，这其中的时间滞后量更是变数。时滞随着炉况顺行状态和冶炼周期而改变。因此，需要通过滤波来消除原燃料变量  $Y(t)$ —控制变量  $u(t)$  与状态变量  $X(t)$ —目标函数  $M(t)$  之间的对应关系的偏差。根据炼铁过程物料平衡与热平衡基本规律，采用时间段滤波是消除各种随机干扰的最有效方法。

我们再建立以下两个定义。

##### 定义3 滤波时间序列曲线

根据高炉冶炼过程各种变量的随机变动特征，为了应用时间序列图深入分析变量的总体发展趋势，例如考察当前炉温发展的状态与趋势时，我们建立以下滤波公式：

$$[\tilde{Si}](n) = \alpha_1 [Si](n) + \alpha_2 [Si](n-1) + \alpha_3 [Si](n-2) \quad (4-3)$$

式中， $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$ ，并且依次为黄金分割点。

这样得到新的时间序列曲线称为滤波时间序列图。即当前炉的  $[Si]$  滤波值为本炉与前1炉、前2炉的铁水硅含量的实际值的3炉加权平均值。

应用滤波时间序列图可以消除随机跳动的干扰，因此能够比较清晰地看到某一变量的时间序列图的不同发展阶段。

##### 定义4 工艺参数的样本滤波

在炉温  $[Si]$  的滤波时间序列图上，可以观察到炉温  $[Si]$  的发展对小时出铁量、 $[S]$  等其他参数的强相关影响。于是我们按照炉温发展的不同特征，把连续若干炉铁（约定12炉以上）的冶炼时间作为炉温发展的一个时间阶段，即一个样本。在这个样本中，各种参数的平均值之间的对应关系可以不考虑由时间滞后量引起的误差。这样，我们可以建立起简化的参数与指标之间的对应关系。这种数据分类处理方法称为样本滤波。

在滤波时间序列图和样本滤波的数据基础上，就能够对高炉过程参数进行数据关联规律分析。它能够反映高炉过程的随机控制结果。而按照滤波关联规律的最佳结果建立起的随机控制，就是高炉过程的随机最优控制。

#### 4.1.5 高炉冶炼过程多目标系统优化模型的建立

Bellman 最优规划理论是现代控制论的基石之一,它反映了一个非线性系统实现优化控制所必须完成的研究工作。因此,高炉过程作为一个非线性系统必须建立起最优规划模型。

炼铁过程既包含高温物理-化学反应过程,同时也包含三相流体力学与化学动力学、化学热力学过程。在这个过程中,焦炭既提供热量能源,又提供还原剂,还是支承炉内炉料(进行化学反应)的骨架。在还原剂的作用下,铁元素从氧化物状态还原生成铁水,其他杂质则生成炉渣。炼铁工艺计算是按照热平衡和物料平衡来计算物料消耗与能量消耗的。

然而,反应过程存在着各种非线性能量消耗,包括流体力学过程所损耗的能量。在生产中看到,炉况顺行时入炉焦比仅为 340kg/t,而炉况不顺时入炉焦比可达 400kg/t 以上。不同炉况下铁元素还原速率与能耗很不相同。在错综复杂的过程机理未能完全搞清楚的现实条件下,这种复杂状态为数学最优化方法的独特应用,提供了“优化出效益”的机遇。

高炉冶炼过程是一个可控的随机过程,其铁水与炉渣化学成分的随机分布性既来源于众多原燃料化学成分  $Y(t)$  的随机波动性,也来源于众多过程控制变量  $u(t)$  和状态变量  $X(t)$  波动的综合影响。因此,反映炉温的铁水硅含量  $[Si]$  带有很强的随机波动性。由于出铁的离散性和炉缸内的铁水成分无法在线检测,炉温的控制成为时滞量很大的预测控制。因此,按照 Bellman 动态规划理论建立高炉过程的动态最优控制模型是能够使纷繁复杂的高炉操作实现优化控制而达到高产节能的目标。

根据我国高炉的原燃料条件与装备水平的实际情况,炼铁专家从工艺上总结提出的炼铁目标:“优质、低耗、高产、长寿”和操作方针“安全、稳定、均衡、顺行”集中体现了高炉冶炼过程的多目标要求。综合多座高炉系统优化的实践,我们建立起反映高炉过程控制的多目标优化数学模型是:

求多元函数  $U(t), J(t), [Si](t), [S](t)$ , 使得:

$$U(t) = \int_{t_0}^t F_1 \left( Y, \frac{\partial Y}{\partial \tau}, K, \frac{\partial K}{\partial \tau}, X, \frac{\partial X}{\partial \tau} \right) d\tau \rightarrow \text{Max} \quad (4-4)$$

$$J(t) = \int_{t_0}^t F_2 \left( Y, \frac{\partial Y}{\partial \tau}, K, \frac{\partial K}{\partial \tau}, X, \frac{\partial X}{\partial \tau} \right) d\tau \rightarrow \text{Min} \quad (4-5)$$

$$[S](t) = \int_{t_0}^t F_3 \left( Y, \frac{\partial Y}{\partial \tau}, K, \frac{\partial K}{\partial \tau}, X, \frac{\partial X}{\partial \tau} \right) d\tau \leq [S]_0 \quad (4-6)$$

$$[Si](t) = \int_{t_0}^t F_4 \left( Y, \frac{\partial Y}{\partial \tau}, K, \frac{\partial K}{\partial \tau}, X, \frac{\partial X}{\partial \tau} \right) d\tau \in ([Si]_0 - A, [Si]_0 + A) \quad (4-7)$$

上述模型中积分下限  $t_0$  表示一炉铁冶炼的起始时间,而积分上限  $t$  为高炉冶炼过程持续的时间,可以包含连续若干炉的冶炼结果。当  $t = T_1$  时为 1 炉铁冶炼的结束时间,式 4-4~式 4-7 是冶炼 1 炉铁过程的结果。模型的最优化含意是:

式 4-4 代表高炉生产效率的极大化,即利用系数  $U(t)$  最大化;

式 4-5 代表吨铁能耗的极小化,即焦比  $J(t)$  的最小化;

式 4-6 代表铁水质量(以硫含量  $[S]$  衡量)满足炼钢的质量要求;

式 4-7 则表示炉温  $[Si]$  的平稳控制要求,  $([Si]_0 - A, [Si]_0 + A)$  是炉温的优化控制范围,  $[Si]_0$  是“控制中线”,由样本空间模型计算得到。式 4-7 是实现高炉过程的安全稳定均衡顺行和设备长寿的必要条件,也是优质、低耗、高产的必要条件。

因此,建立并研究高炉过程优化数学模型是炼铁生产实现多目标优化的客观要求,也是高炉过程智能控制自动化的要求。对生产实际数据分析表明:上述变分问题的优化解是客观存在的。关键技术是建立算法把优化解计算出来。在离散数值条件下求解变分问题的方法即所谓数值变分方法。基于多目标优化模型的变频统计方法是我们建立的高炉过程非线性系统寻求优化解集的独特算法。它可以对每一座特定高炉进行工艺参数的系统优化,求解其关键参数的最佳范围和最佳组合。

## 4.2 高炉过程数学模型的复杂结构

### 4.2.1 关于数学模型技术

随着计算机技术和信息技术的发展进步,数学模型的广泛应用,数学已经从科学原理逐步走向技术应用。在错综复杂的高炉数学模型开发过程中,所使用的数学方法不再是仅仅停留在数量型方法上。只有灵活地应用多种数学模型技术,才能够深入地刻画高炉过程的复杂性。不仅要有微观的反映高炉过程的数学模型,而且也要有宏观把握高炉冶炼过程特性的数学模型。只有这样才能够反映高炉过程的实际。

多目标优化数学模型作为高炉冶炼过程宏观的系统优化模型,它并不能代替各工序环节的微观数学模型。分析高炉过程各个环节根据不同功能要求所建立的几十个数学模型,可以分为 4 种不同类型的数学结构,即确定型的工艺计算模型、概率型随机可控模型、模糊控制模型和数理逻辑推断模型。高炉过程建立的各种数学模型的分类示意图,见图 4-2。

### 4.2.2 工艺计算的数量化模型

在炼铁工艺计算中,物料平衡与热平衡是基础。根据采集的烧结矿批重、球团矿批重、焦批重和各种原燃料成分数据,以及喷煤速率等数据,按照配料计算公式即可计算得到理论铁量、渣量、配料碱度、焦炭负荷、理论焦比、硫负荷等工艺过程关心的重要参数。同时,在不同炉况等级下,建立起不同优先级的控制参数,计算

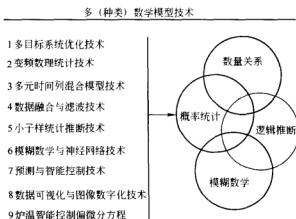


图 4-2 高炉过程数学模型技术类型图

控制强度,计算工艺参数之间的回归关系等,定性规律变成定量关系规律,就可以指导工艺过程的优化控制。

#### 4.2.3 概率统计模型

众多原燃料变量  $Y(t)$ 、状态变量  $X(t)$  的随机分布特性影响着高炉过程控制。建立了基于变频数理统计的样本空间模型分析方法,可以总结出样本条件的差异所在。高炉过程的统计计算是否成功,关键在于样本的划分。也可以对指定的若干项参数,在指定的时间范围内进行常规统计对比。在这些统计分析中,所谓“统计特征值”包括样本的均值、方差、数据量、最大值 Max、最小值 Min 以及  $t$  分布差异显著性检验值  $t_0$ 。概率统计模型是判断炉况异常状态的主要模型。

#### 4.2.4 模糊控制模型

对高炉过程优化控制具有重要意义的参数是冶炼强度  $ZI$ ,炼铁教科书中给出一种定性的论断:冶炼强度与焦比的关系是一条“锅底曲线”:冶强“过低”则利用系数低而焦比高。反之,冶强“过高”则利用系数高焦比也高。只有控制冶强在“合适”范围,才可以取得利用系数高而焦比低的成效。这里对冶炼强度的控制描述:“过低”、“过高”、“合适”就是一种模糊控制的描述。

同样,在高炉过程优化控制中,炉温  $[Si]$  的预测控制十分关键。应用样本空间模型计算得到炉温  $[Si]$  控制存在最佳范围。称为“中线控制”。在中线上下一定范围内,为炉温最佳控制。炉温在中线范围以上 2 个层次分别为“偏热”与“过热”;在中线范围以下的 2 个层次分别为“偏凉”与“过凉”。显然,对炉温的优化控制也是属于模糊控制。

对于不同的高炉,炉温的“中线控制”,“偏热”、“偏凉”、“过热”、“过凉”的专家知识与判断规则都在“专家知识库”中设定。计算机按照铁水成分给出炉温状态的

智能化判断。然后根据控制优先级给出适合的控制参数与控制量,以保持炉温的平稳控制。

#### 4.2.5 数理逻辑推断模型

在错综复杂的高炉炉况特性中,如何在正常冶炼过程中判断异常炉况发生的征兆,及时提出消除隐患的报警,对于保持炉况顺行和高炉过程的最优控制极为重要。在高炉顺行故障判断中,最重要的内容有:

- (1) 对炉墙结厚—结瘤—顽固性结瘤的智能化判断和报警;
- (2) 对悬料事故的判断和预警;
- (3) 对料柱中的管道(含中心管道或边缘管道)的判断和预警;
- (4) 对炉缸堆积(含中心堆积或边缘堆积)的判断和预警。

这些炉况故障状态的智能化判断和报警,需要根据炼铁专家的知识建立判断规则,在“专家知识库”中给出判别参数的变动范围,需要按照优化计算结果建立判断的“临界值”,需要建立起智能推断的模型结构。计算机智能化逻辑推断能够帮助工长及早采取措施,有效地避免异常炉况的发生。也能够异常炉况发生情况下,根据专家知识库提出处理方案。

在高炉过程智能化控制模型的建立中,需要灵活地运用以上4种不同结构的数学模型。

### 4.3 基于时间序列的变频统计与冶炼过程优化控制规律

#### 4.3.1 描述复杂工艺系统过程状态的时间序列图

实践表明,在错综复杂的生产状态下,高炉过程的数量化指标——产量、能耗、质量与炉温4者呈现复杂的组合。如:有的阶段是炉温适中而高产低耗质量满足要求;有的阶段是炉温偏热而低产高耗但铁水质量好;有的阶段是炉温偏凉而高产低耗但铁水质量差等等。这些错综复杂的组合表明:高炉过程的多目标优化存在着多目标共容规律,也存在多目标矛盾规律。如何计算求解过程参数的优化范围和它们的优化组合,保证同时达到优质、低耗、高产的目标要求?在数学理论上这是一个复杂的变分问题,没有什么计算公式可以套用。只有通过实践来检验计算求解的结果是否与实际吻合。经过多年的实践检验之后,我们总结提出了基于多元时间序列分析的变频统计计算方法。

在错综复杂的生产工艺系统中,要描述诸多参数之间非线性的动态关联规律,如果用“数学公式”或“数据表”是难以直观描述的。只有多元时间序列图能够通过数据的可视化方法直接地观察到每一项参数随时间波动的规律,也能够细致地对比不同参数之间各自变动的波形之间的非线性对应关系与发展趋势。因此,多元时间序列图是反映工艺参数复杂变化十分直观有效的数学工具。

华罗庚教授在推广应用优选法、统筹法实践中,按照唯物辩证法的哲学观点总

结了一个“抓主要矛盾”的优化理论:对于任何一个复杂的工艺系统,总可以找出3~5项关键的参数,它们对于整个系统的变化规律起到提纲挈领的作用。在分析高炉诸多参数发展变动规律中,我们建立小时出铁量  $F_{eh}$  反映高炉过程铁元素的还原速率,以铁水硅含量  $[Si]$ 、硫含量  $[S]$  反映高炉炉温和铁水质量变动规律,以炉渣碱度  $(R)$  反映炉内还原气氛,通过这四项参数的多元时间序列图来把握高炉过程的非线性变化的基本特征,见图 4-3。

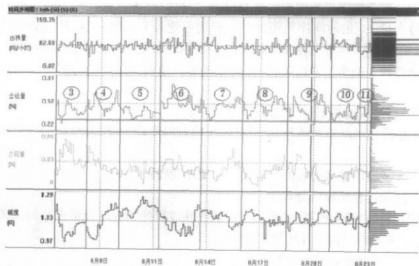


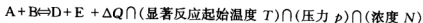
图 4-3 建立变频统计的四元时间序列图

#### 4.3.2 高炉冶炼过程的“混沌相似性”

从化学反应热力学与化学反应动力学角度考察高炉冶炼过程,高炉内发生的错综复杂的化学反应过程可以分为以下 3 大类:

- (1) 还原剂与热量的生成反应;
- (2) 铁氧化物的还原反应;
- (3) 其他氧化物的还原反应。

这些反应在高炉的不同部位、不同条件下进行,并且走过不同的反应途径,消耗着不同数量的能源,得到不同的反应结果。我们用广义化学反应方程式表达其反应过程是:



式中,  $A, B, D, E$  分别为反应物与生成物,  $\Delta Q$  为反应的生成热,交集符号  $\cap$  表示反应进行的条件,  $\rightleftharpoons$  表示反应进行的方向,在一定条件下是可逆的。在实验室进行的化学试验中,这些反应的数量与方向关系是明确而严格的。然而,在实际运行的高炉中,在不同高炉部位发生着的 108 种以上不同的化学反应,其复杂性就不可

能像实验室那样简单纯了。而且,炉内的三相流体力学也强烈地影响着反应的进行。作为气体流量、压力的复合函数的透气性指数,对于反应过程的强烈影响就是证明。在这些天文数字规模的化学反应过程中,反应结果的统计规律显然远比严格的化学平衡式计算更具有实际意义。因此我们不能把冶炼过程视为简单的线性的能量平衡系统。不同高炉的生产实践也都证明:高炉冶炼过程生产 1 吨铁水的能量消耗完全是非线性的。

作为这种非线性描述的关键参数[Si],当我们把各企业各种不同条件下高炉的铁水硅含量[Si]的时间序列图放在一起进行比较分析时,很容易看到炉温波动的“混沌相似性”。这种混沌相似性不论是在国外装备条件精良的大型高炉,还是国内的条件较差的中小型高炉,都客观存在着。差别只是波动的频率与幅度不同而已。

归纳这种“混沌相似性”的特征,可以得到:

(1) 小波波动的频繁性与非周期性,反映着混沌动力学理论“周期 3 意味着混沌”;

(2) 大波波动隐含的发展趋势性,即“载波”特性;

(3) 波动过程的随机分布性。

炉温[Si]的“混沌相似性”是建立高炉冶炼过程变频统计分析方法的工艺原理基础,是求解冶炼过程统计优化规律的依据。

#### 4.3.3 变频统计方法的数学原理

从数学角度看,高炉冶炼过程是连续化的物理化学过程,它可以理解为矿石与燃料的连续“微分”和铁水与炉渣连续“积分”的过程。而高炉出铁却是离散化的数据。如何建立起高炉过程离散与连续之间的映照关系,是高炉过程优化计算的一个难题。把多目标优化模型的公式 4-4~式 4-7 中的时间上下限延伸为某一时间阶段  $t_0 \rightarrow t$ ,例如一个月的生产周期,那么它将包含着 300 多炉的出铁数据,形成一个大样本。于是,应用积分学原理将积分近似为求和,进而变换为不同阶段的样本特征值的数理统计计算。演算公式如下:

$$\begin{aligned} M &= \int_{t_0}^t F\left(Y, \frac{\partial Y}{\partial t}, K, \frac{\partial K}{\partial t}, X, \frac{\partial X}{\partial t}\right) dt \\ &= \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=0}^n \int_{\tau_i}^{\tau_i + T_j} F\left(Y, \frac{\partial Y}{\partial t}, K, \frac{\partial K}{\partial t}, X, \frac{\partial X}{\partial t}\right) dt \approx \sum_{j=1}^N \bar{F}_j \cdot \Delta T_j \end{aligned} \quad (4-8)$$

式 4-8 的意义在于把高炉过程优化计算从理论的微积分连续函数的精密计算,转换成实际可行的离散生产数据的数理统计特征值的计算。

#### 4.3.4 基于四元时间序列图的样本空间模型

图 4-3 的时间序列图反映了铁元素的还原速率  $F_{eh}$  与炉温[Si]、铁水硫含量

[S]和渣碱度( $R_2$ )之间的复杂非线性关系。显然,它们之间的数量关系难以用函数公式表达出来。

以[S]的时间序列为基准,按照“混沌相似性”特征,考虑“状态特性”(均值)和“波动特性”(方差)两方面划分炉温发展阶段,建立样本,然后计算各样本各项参数的统计特征值。每个月的生产数据至多可以划分为14个样本(受打印机纸张宽度限制),组成月份的“系统优化分析表”,见表4-1。

在这种按照炉温波动过程进行划分样本的方法下,各个样本的数据容量不一定相同。在炉温平稳阶段,样本容量大,可以连续几天的生产数据构成一个样本,一个样本含有几十炉铁的数据。而在炉况波动期,不同的变动特性划入不同样本,样本炉数少,只有10多炉。在统计代表性上设置样本炉数的下限为12炉。因此,它不同于常用数理统计中的等容量、等步长、等距离、等概率、等周期等样本划分规则,故称为“变频统计”。它实质上以高炉过程主因素的变动特性为“模板”,即按照高炉过程的“混沌相似性”来划分样本,计算参数的统计分布规律。进而通过聚类分析找出起主导作用的控制规律。这一模型我们称为样本空间模型。

#### 4.3.5 高炉冶炼过程的优化控制规律

在样本空间模型计算基础上,根据“系统优化分析表”的均值表数据建立的反映高炉过程冶金反应动力学特性的规律有以下几个:

(1) 在炉温[S]与渣碱度( $R_2$ )双因素平面上,铁还原速率的分布优区 $\Omega_1$ 满足:

$$\Omega_1 = \{(A_1 \leq [S] \leq A_2) \cap (R_0 \leq R_2 \leq R_1)\} \quad (4-9)$$

在这个范围中,利用系数可达到最大值而焦比较低。这是达到高产的必要条件。

(2) 在风量 $FQ$ 与透气性 $FF$ 双因素平面上,铁还原速率的分布优区 $\Omega_2$ 满足:

$$\Omega_2 = \{(r_1 \leq r \leq r_2) \cap (\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2)\} \quad (4-10)$$

$$\text{式 4-10 中, } r = \sqrt{(FQ - FQ_0)^2 + (FF - FF_0)^2}; \theta = \arctan \frac{FQ - FQ_0}{FF - FF_0}$$

在这个范围中,利用系数可达到最大值而焦比较低。

(3) 在焦炭负荷 $OPC$ 与鼓风动能 $BE$ 双因素平面上,铁还原速率的分布优区 $\Omega_3$ 是:

$$\Omega_3 = \{(OPC_0 \leq OPC \leq OPC_1) \cap (BE_0 \leq BE)\} \quad (4-11)$$

在这个范围中,利用系数可达到最大值。同时,还建立了多个回归模型,反映铁还原速率 $F_{eh}$ 与焦比 $K$ 的回归关系规律;铁还原速率 $F_{eh}$ 、焦比 $K$ 与冶炼强度 $ZI$ 的回归关系规律。通过这些规律的分析,得到以下优质、高产、低耗的条件。





(4) 利用系数  $U$  达到最大值, 焦比  $K$  达到最小值, 且铁水质量符合要求, 即优质低耗高产的必要充分条件是:

$$\Omega = (\cap \Omega_i) \cap (Z_{I_0} \leq Z_I \leq Z_{I_1}) \quad (4-12)$$

此集合优选公式即是高炉过程优化控制的主要参数组合及参数的最佳控制范围。

图 4-4 为主要优化规律的聚类分析图。其系统优化分析求解过程得到的各项参数的优化范围, 设置在“专家知识规则库”中。以这些优化数据为标准, 各种炉况的生产水平与之比较, 就很容易观察、总结出差距所在。

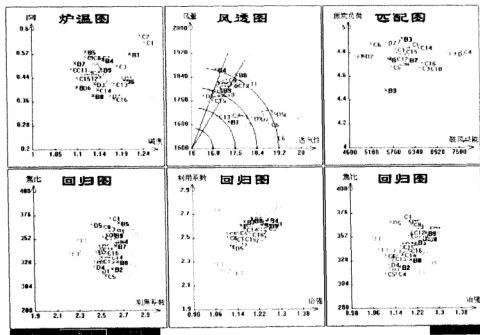


图 4-4 优化规律聚类分析图

(图中  $[\text{Si}]$  的单位为 %; 风量单位为  $\text{m}^3/\text{min}$ ; 鼓风动能单位为  $\text{J/s}$ ;

利用系数单位为  $\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ; 焦比单位为  $\text{kg/t}$ ; 冶强单位为  $\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ )

当高炉各种条件发生显著变化时, 必须重新计算关键参数的优化范围。

## 4.4 基于平稳时间序列的炉温预测与控制

### 4.4.1 炉温 $[\text{Si}]$ 控制对高炉过程控制的意义

在炼铁过程中, 由于铁水硅含量  $[\text{Si}]$  与炉缸温度之间有着密切的相关性, 因此, 常常用  $[\text{Si}]$  来代表炉缸的温度, 简称“炉温”。但是, “炉温”作为化学温度, 与炉缸的物理温度并非同一概念。“炉温控制”与传统控制理论中的“温度控制”更非同一概念。

炉温[Si]与高炉各项技术经济指标密切相关。因此,实现炉温[Si]的预测与平稳控制成为工长作业的技术核心。炉温能否控制在要求的范围中,是工长操作水平的集中表现。

炉温的传统控制方法是建立在工长个人经验判断的基础上。不同高炉有不同的控制经验和指导思想。如高炉炉温的调控,有的主要靠调整喷煤量,有的以调控风温为主,有的以调控焦炭负荷为主——保持焦批重而随时调整矿批重及矿种配比等等。

但是,炉温的控制是一种大时滞的预测控制。它要求工长对当前炉温的发展作出正确的预测,采取正确的调控措施,那么在大约 2h 后出来的下一炉铁水[Si]才能够符合质量要求。如果措施不及时或力度不够,那么炉温的发展将失去控制。炉温发展成“过热”或“过凉”将导致炉况事故。炉温失控将使高炉的各项指标显著变差。

因此,建立炉温的智能控制自动化模型是高炉专家系统的技术核心。

#### 4.4.2 考察炉温变动规律的软件仪表——炉温智能控制图

在分析炉温预测控制方法的基础上,我们设计了“相对炉温综合判断图”作为工长实施炉温预测与智能控制的软件仪表,如图 4-5。

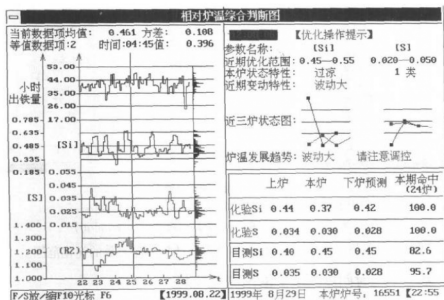


图 4-5 炉温智能控制图

##### 4.4.2.1 考察炉温中长期发展趋势的四元时间序列图

实践证明,对炉况变动的综合分析仅仅考察[Si]是不够的。根据冶金反应工

程序原理,我们选择小时出铁量  $F_{eh}$ 、铁水硅含量  $[Si]$ 、硫含量  $[S]$  及炉渣碱度  $(R_2)$  这 4 项参数的时间序列图作为考察炉温中长期(5~7 天)发展趋势的仪表。如图 4-5 的左半部分。

#### 4.4.2.2 判断炉温近期变动的“优化操作提示单”

图 4-5 的右上半图对近期 3 炉炉温  $[Si]$  的状态和走势作出智能判断和提示。它由计算机对当前炉温的状态水平  $\mu$  (分为正常、偏热、偏凉、过热、过凉 5 类)与波动水平  $\sigma$  (分为平稳、上升、下降、波动、波动大 5 类),按照专家知识的设定值作出智能判断和提示。显然,这对工长快速作出正确的控制决策具有重要参考价值。

#### 4.4.2.3 按照平稳时间序列模型进行炉温预报

炉温数值预报的模型很多,如多元回归模型、最小二乘模型、神经网络模型、时间序列模型等,各种模型的适用性因炉况而异,各种方法的计算复杂性也不同。通过实践验证,我们采用平稳时间序列混合模型。这种模型的预报命中率和成功率能够满足生产的要求。ARMA 模型数值预报的计算公式是:

$$Y[Si](n+1) = a_2[Si](n-1) + a_1[Si](n) \quad (4-13)$$

式 4-13 中,  $Y[Si](n+1)$  为第  $n+1$  炉铁水含硅量预测值,  $[Si](n+1)$  为第  $n+1$  炉铁水  $[Si]$  的化验值。  $a_1, a_2$  是由第  $n$  炉之前的若干炉数据按照最小二乘法求得的。因此,式 4-13 的数值预报是动态追踪最新数据进行的炉温预报。

#### 4.4.3 炉温预报“命中率”与“成功率”的灵活应用

在炉温预报控制中,我们建立了炉温预报“命中率”与“成功率”的计算公式。

所谓“命中率”  $Mz$  是指在某一段时间中,预测计算得到的第  $n$  炉铁水硅含量  $YC[Si](n)$  与铁水实际化验得到的  $[Si](n)$  之差的绝对值在 0.1 范围内,则称为预报命中;而命中的炉数与全部炉数之比,则称为预报命中率。记为:

$$Mz = \text{Prob} \{ |YC[Si](n) - [Si](n)| \leq 0.1 \} \quad (4-14)$$

实际上对炉温数值预报的重要性不仅仅在“命中率”。在许多情况下,工长更重视炉温预报的方向不能搞错,即炉温上升不能预报成下降,反之亦然。把炉温发展方向预报正确的炉数加上数值预报命中的炉数,它们占总炉数的比例称为炉温预报“成功率”,记为:

$$\begin{aligned} CGL = \text{Prob} \{ & (|YC[Si](n) - [Si](n)| \leq 0.1) \cup ((YC[Si](n+1) \\ & - [Si](n))([Si](n+1) - [Si](n)) \geq 0) \} \end{aligned} \quad (4-15)$$

炉温控制追求的是平稳,这正是 ARMA 模型的特性。因此,当炉温平稳发展时,ARMA 模型的数值预报“命中率”与“成功率”均比较高,可达到 85% 和 90% 以上。根据预报值进行炉温的调控,能够保持炉温的平稳发展。

当预报命中率与成功率比较低时,它意味着炉内存在着引起炉温波动的因素。这时工长应当注意炉况的波动,及时地采取有力措施进行炉温调控,而不能对炉况

掉以轻心。

因此,从炉温数值预报命中率的高低,工长可以判断炉况是处于平稳状态还是处于波动状态,从而提高炉温的操作控制水平。图 4-5 的右下表是炉温的数值预报结果与命中率。

虽然平稳时间序列预报模型能够给出炉温的数值预报,通过炉温智能控制图能够指导工长恰当地控制炉温,但是该模型无法数量化地回答工长调控喷煤、风温、风量以及负荷调整等参数对炉温的影响量。而这正是中小高炉工长调控炉温最需要掌握的经验数据。为此,我们进一步开发了炉温智能控制偏微分方程,总结工长调控炉温的数量化规律。

## 4.5 炉温[Si]的智能控制偏微分方程

### 4.5.1 炉温控制偏微分方程

根据现代控制论的“能观性”、“能控性”概念,在影响炉温众多的参数中,只有那些能够实时观测、实时控制的关键参数才能够成为我们建立炉温控制方程的基础。

根据炉温发展与调控过程工长主要考察的关键参数,我们建立的高炉冶炼过程炉温智能控制偏微分方程是:

$$\begin{aligned} \frac{\partial[\text{Si}]}{\partial t} = & \left\{ \frac{\partial[\text{Si}]}{\partial LS} \frac{\partial LS}{\partial t} + \frac{\partial[\text{Si}]}{\partial PMB} \frac{\partial PMB}{\partial t} + \frac{\partial[\text{Si}]}{\partial FL} \frac{\partial FL}{\partial t} + \frac{\partial[\text{Si}]}{\partial FW} \frac{\partial FW}{\partial t} \right. \\ & \left. + \frac{\partial[\text{Si}]}{\partial FF} \frac{\partial FF}{\partial t} + \frac{\partial[\text{Si}]}{\partial TLC} \frac{\partial TLC(t-\tau_1)}{\partial t} \right\} \cap \frac{\partial[\text{Si}]}{\partial FH} \frac{\partial FH}{\partial t} \cap \frac{\partial[\text{Si}]}{\partial PR} \frac{\partial PR}{\partial t} \\ = & \left\{ A \frac{\partial LS}{\partial t} + B \frac{\partial PMB}{\partial t} + F \frac{\partial FF}{\partial t} + L \frac{\partial FL}{\partial t} + W \frac{\partial FW}{\partial t} \right. \\ & \left. + C \frac{\partial TLC(t-\tau_1)}{\partial t} \right\} \cap H \frac{\partial FH}{\partial t} \cap P \frac{\partial PR}{\partial t} \end{aligned} \quad (4-16)$$

方程 4-16 反映了高炉冶炼过程炉温状态[Si]的变动,与实时可观测的状态变量(料速指数 LS、透气性指数 FF 和铁量差 TLC)的变动以及实时可控的控制变量(风量 FL、风温 FW 和喷煤量 PMB)的变动之间的关系。交集运算符号表明控制方程是在最佳配料负荷与最佳配料碱度条件下成立的。我们选择的算法是按照神经元自学习方法,确定自学习样本,应用多元优选法,以炉温预报命中率为指标,自学习确定一组最佳系数组:

$$ZYZ_0 = (A_0, B_0, F_0, L_0, W_0, C_0)$$

### 4.5.2 炉温控制方程的多元回归算法的局限性

求解式 4-16 可以用多元回归的方法,通过已有的  $n-1$  炉生产数据求出回归系数 A、B、F、L、W、C,然后代入新的数据求得新一炉的炉温[Si]的变动量,从而预测第  $n$  炉的炉温[Si]( $n$ )。这种自适应计算是按照滑动窗口方法进行的。

在计算机上进行模拟试验表明,这样纯数学算法求解的结果虽然数值预报的命中率可以达到 70% 以上,但是各种状态变量与控制变量的影响系数,却时而为正,时而为负。显然,这种算法无法帮助工长总结炉温调控经验,并且与工艺理论及生产经验也不相符合。例如加大风量,炉温将下降;减少风量;炉温将上升;这是经过工艺实践证明的确定性结论。其符号是不能够随意改变的。因此,简单利用最小二乘法求解偏微分方程式 4-16 的系数在工艺上有局限性,在某些情况下符合生产实际,在另外一些情况下应当予以修改。

#### 4.5.3 正交试验设计证明工艺经验的正确性与差异性

通过对实际高炉的数据进行正交试验计算,我们得到表 4-2 的结果。它证明了工艺经验是正确的。我们对炉温控制状态进行简化分类:每一炉铁的生产过程,其料速指数、透气性指数、风量和喷煤速率都可以与上炉相比,分为“增加”(加速、加透、加风、加煤等)或减少(减速、减透、减风、减煤等)两种情况。于是统计得到以下不同炉数的分析结论。

表 4-2 正交试验设计计算表

[Si]的变化范围	小计	料速变化		透气性变化		风量变化		喷煤量变化	
		加速	减速	加透	减透	加风	减风	加煤	减煤
>0~0.11	123	62	61	54	69	58	65	60	63
>0.11	48	26	22	16	32 <sup>②</sup>	20	28 <sup>①</sup>	22	26
>0	171	88	83	70	101	78	93	82	89
<0~-0.11	136	73	63	73	63	78	58	82	54
<-0.11	43	29 <sup>②</sup>	14	30 <sup>②</sup>	13	30 <sup>②</sup>	13	25	18 <sup>①</sup>
<0	179	102	77	103	76	108	71	107	72
=0	22	17 <sup>②</sup>	5	12	10	10	12	10	12
总炉数	372	207	165	185	187	196	176	189	183

① 代表 75% 差异显著性;② 代表 95% 差异显著性。

(1) 查“符号检验表”得到:料速加快对大幅降硅,即  $DSi < 0.11$  有 95% 显著性差异;对  $DSi \leq 0$  有 75% 显著差异。

(2) 透气性变小,则大幅增硅  $DSi > 0.11$ ,显著性差异达 95%;透气性增大,则大幅降硅  $DSi < 0.11$ ,显著性达到 95%;

(3) 加风,则大幅降硅  $DSi < 0.11$  显著性为 95%;减风则增硅  $DSi > 0.11$ ,显著性为 75%;

(4) 在料速加快—透气性增大—风量加大的情况下,虽然加煤而仍然大幅降硅的显著性为 75%;加煤而降硅  $DSi \leq 0$  的显著性也是 75%。

以上统计检验结论完全可以作为在高炉冶炼过程炉温控制的指导原则。

#### 4.5.4 Bellman 动态规划与神经网络算法

根据以上分析,我们把 2h 冶炼 1 炉铁的生产进程分为 4 个阶段:出铁结束后

30min(大约是上一炉铁水成分报来的时间),60min,90min 和新一炉出铁。按照这样 4 个时段,计算冶炼过程状态变量与控制变量的交互作用结果,预测炉温发展趋势及其控制方案,我们就可以较好地使冶炼过程炉温保持在最佳状态下。

高炉冶炼过程炉温控制方程计算的神经网络算法公式是:

$$\frac{\partial[\text{Si}]}{\partial t} = f\left(\sum_{i=1}^4 w_i(t)x_{ij} - \theta_j\right) \quad (4-17)$$

$$[\tilde{\text{Si}}](n+1) = \frac{\partial[\text{Si}](n+1)}{\partial t} + [\text{Si}](n) \quad (4-18)$$

式 4-17、式 4-18 中,  $x_{ij}$  为各变量  $x_i$  在一炉铁 4 个时间段的取值,  $w_i$  为不同时间段的权值,  $\theta_j$  是各变量的阈值,  $f$  代表  $[\text{Si}]$  的变化率与各变量之间的非线性关系。 $[\tilde{\text{Si}}](n+1)$  代表第  $n+1$  炉的  $[\text{Si}]$  的预测值。

把 2 项状态变量、2 项控制变量各自的 2 类状况进行排列组合, 就可以得到 16 种状态与控制的组合。表 4-3 列出其中一种组合状态: 加速—加透—加风—加煤下的炉温控制变动预测值和相关的变量数值, 由此进行对比看到: 神经网络算法下的炉温变动预测值与实际炉温的变化值, 在炉温发展方向上(即炉温下降)是完全符合的, 变动数值上也很接近。因此, 该类的 15 炉数据分类预报控制是成功的。

表 4-3 “加速—加透”状态与“加风—加煤”控制下的炉温变动智能控制对比表

炉号	$[\text{Si}]$	$D[\text{Si}]$	$\text{YCD}[\text{Si}]$	$\text{TLC}$	$\text{DLS}$	$\text{DFF}$	$\text{DFQ}$	$\text{DFW}$	$\text{DPM}$
563	0.44	-0.09	-0.08	-23	12	100	100	-32	0.2
571	0.25	-0.05	-0.06	-1	18	8	17	15	1.2
622	0.59	-0.04	-0.03	-14	2	72	64	2	1.0
635	0.38	-0.03	-0.06	12	13	55	53	11	0.5
642	0.22	-0.06	-0.06	-14	14	47	69	10	1.0
674	0.32	-0.04	-0.08	-45	15	78	64	11	1.2
686	0.40	-0.04	-0.05	-37	11	35	100	10	0.4
808	0.48	-0.10	-0.06	19	5	100	65	-13	0.5
814	0.48	-0.02	-0.06	-34	6	100	92	10	1.6
853	0.38	-0.06	-0.05	-7	12	34	2	-13	0.3
870	0.25	-0.05	-0.04	-2	0	100	44	-14	0.9
876	0.41	-0.01	-0.03	9	2	63	37	11	0.6
894	0.34	-0.04	-0.05	-26	11	44	10	-18	1.3
908	0.51	-0.02	-0.07	33	12	98	100	19	1.8
911	0.50	-0.02	-0.07	-18	11	92	80	-11	1.1

注: 表 4-3 中  $\text{DX} = \frac{\partial X}{\partial t}$ , 为各项过程变量的变动值, 是实时采集数据的神经网络算法计算结果, 而不是高炉日志记录的静态数据。

## 5 高炉过程的智能控制自动化

### 5.1 高炉过程运筹与控制的两种策略

钢铁工业作为资金—技术密集型传统产业,其技术水平往往是与巨额投资密切联系的。而钢铁产品的质量又是与技术水平密切联系的,特别是复杂的、连续的生产过程,更需要自动化技术的支持。高炉过程的自动化既需要技术的密集投入,也需要资金的密集投入。

在几十年高炉过程自动化技术研发过程中,人们经历了从高炉炼铁的基础自动化研究到冶炼过程数学模型研究的逐步深化过程。基础自动化改造给高炉炼铁带来了技术经济成效。然而,冶炼过程自动化控制的数学模型复杂性和控制难度,却超出了人们的预料,成为一个难题。高炉过程自动化控制的研究也从经典自动控制的研究转变为高炉“专家系统”的开发与应用研究,转变为智能控制自动化的探索。

如何解决高炉过程智能控制自动化难题?在我国的高炉生产实践中实际上已经形成了两类运筹与控制的策略。类似诺贝尔奖获得者、博弈论专家 J.F.Nash 建立的 Nash 平衡逻辑分类,我们不妨把它简称为第一类策略与第二类策略。

#### 5.1.1 第一类策略:以改善“硬条件”为基础的控制策略

国际上许多先进高炉以不断改善原燃料质量的稳定性为基础,大力强化高炉冶炼过程的自动化检测条件,期望通过加强检测,实现高炉过程的自动控制。这是以密集资金改善“硬条件”为基础实现高炉自动化的控制策略。

工艺上采取的“精料方针”措施,包括建混匀料场、改进入炉料粒度、强度等,有效地改善了高炉生产过程的平稳性。于是,在常规技术进步逻辑中,在原燃料质量改善后,人们期望通过高炉自动化装备与检测条件的改善,以“检测控制”替代“模型控制”,实现高炉冶炼过程的闭环控制自动化。

但是,分散的成百上千个检测点的信息仍然无法综合地反映高炉内铁水、炉渣的物理温度、化学温度以及与之密切关联的控制机理。人们迄今还没有发明出经济实用的能够检测炉缸内的物理状态与化学状态的检测元件。因此,利用检测控制无法实现高炉过程自动化。

加强自动化检测条件作为高炉技术进步的重要措施,国内外一些大型高炉装备了如红外成像仪一类的昂贵检测设备,确实有效保障了高炉的稳定顺行。高炉



过程自动化检测条件的改善,大大促进了高炉过程的平稳化。但是,仅加强自动化检测依然没有攻克冶炼过程自动化难关。

概括以上技术进步思路,就是在改进原燃料质量基础上,加强自动化检测装备条件,不断推进高炉过程的自动化。国内一些大高炉引进高炉专家系统,配套改善原燃料条件和各种自动化检测条件,就是循着这一思路进行的。

### 5.1.2 第二类策略:基础自动化+信息网络化+系统优化的控制策略

在开发应用高炉专家系统的实践中,可以看到:改善原燃料质量稳定性与加强高炉的自动化检测条件是推进高炉过程实现智能控制自动化的基本条件。然而由于资金的紧缺,或者由于高炉小,配套昂贵的自动化检测条件从投资效益比的角度来考虑是划不来的,因此,如果过分依赖条件的改善再开发高炉专家系统的应用,显然是难以推动技术进步的。于是就提出了一个富有挑战性的问题:能否在已有的原燃料与基础自动化装备条件下,通过信息网络化和系统优化实现高炉过程的智能控制自动化?于是高炉生产实践中产生了第二类控制策略:以基础自动化信息网络化和系统优化为基本条件的智能控制自动化策略。其思路是把冶炼过程已有的信息采集,通过信息网络化提高信息资源的共享度与时效性,从系统优化—智能自动化角度深入加工,把握高炉冶炼过程内在的优化规律,从而首先实现高炉冶炼过程的智能控制自动化,即工长操作高炉过程的智力劳动自动化。这也正是国家所推行的传统产业的信息化改造的技术进步之路。

对于一般的大型高炉,对于我国数量众多的  $300\sim 1000\text{m}^3$  容积的高炉,通过基础自动化+信息网络化+系统优化实现高炉冶炼过程的智能控制自动化,是一条更具有经济效益的技术进步快车道。

在炼铁专家指导、企业有远见领导人的支持和有开发能力的大学研究机构多方面持续不懈的努力下,通过产-学-研的密切合作,通过炼铁工艺技术与信息技术、计算机技术、自动化技术、数学模型技术的多学科交叉开发,高炉过程最佳状态下的随机最优控制的研究与生产验证取得了显著的进展。一些典型高炉以引进专家系统资金的几分之一投入的条件下,通过应用国产的智能控制专家系统取得了显著的技术经济效益。济钢1号高炉( $350\text{m}^3$ ),新临钢6号高炉( $380\text{m}^3$ )和莱钢1号高炉( $750\text{m}^3$ )就是其中的典型。

这样,与国外引进的高炉专家系统相比,出现了高炉过程智能控制自动化的两种不同的技术思路和运筹控制策略。拥有我国自主知识产权的“智能控制专家系统”具有自己的显著特征:这就是从国内多数高炉的装备水平与原燃料条件客观实际出发,按照我国炼铁专家的工艺技术思路,通过基础自动化-信息网络化-系统优化实现高炉冶炼过程的智能控制自动化,以较少的投资,获得挖掘高炉生产潜力的显著效益。

## 5.2 高炉冶炼过程智能控制自动化系统的设计

通过多学科理论上的思考与研究,通过 18 年来对近十家钢铁公司十多座高炉生产实践的调研与探索,综合分析国内外各种高炉专家系统与数学模型的研究思路,综合分析我国炼铁专家提出的工艺理论,结合目前我国一般高炉的现有技术条件,我们从制造业信息化工程角度思考当前可行的高炉冶炼过程智能控制自动化问题,提出拥有我国自主知识产权的系统设计,以期对高炉炼铁技术进步和改善技术经济效益发挥应有的作用。

### 5.2.1 高炉过程的最佳状态与随机最优控制

对多座高炉的生产实践调查证明:各钢铁厂的高炉炼铁虽然具有炼铁工艺的一般共性,但是,由于高炉设计、装备水平、原燃料条件、操作技术习惯等方面的原因,各座高炉都有自己的特性。并且,即使是同一座高炉,随着条件的变化,各主要操作参数也会随之变化;不同的工长,操作特点也有所不同,反应在各班的指标上也有所不同。在错综复杂因素的影响下,不同时期的高炉确实存在不同的最佳状态,并且从现代控制论角度分析,它确实存在着随机最优控制。

如何应用计算机智能技术动态地确定高炉过程的最佳状态及其随机最优控制,成为高炉过程自动化的技术核心。对此,我们将按照 5.1.2 节论述的“第二类策略”来研究解决这个问题的可行方案。

从对策论角度总结华罗庚教授在 20 年推广应用优选法、统筹法实践中,对生产工艺系统的“一条龙”优选,可以概括出如下“优选公理”:

如果在现有工艺条件与操作控制  $X_0$  下,生产工艺所得到的指标是  $f(X_0)$ ,则可从工艺流程的一切可行操作控制集合  $\Omega$  中寻求新的控制策略  $\xi$ ,如果指标  $f(\xi) > f(X_0)$  在统计意义上具有显著性,那么控制策略  $\xi$  所确定的控制集合  $\Omega_1$  则为随机优化控制,经过多层次优化,其最优者则为随机最优控制。

由于“优选公理”是在可行操作控制集合中选优,因此随机最优控制能够保障生产的安全性与可操作性。由于“优选公理”是在已经实现的生产数据分析中选优,因此,如果在计算机上的仿真计算试验始终都是  $f(\xi) \leq f(X_0)$ ,那么证明  $X_0$  已经是随机最优控制,其优选过程结束。生产工艺仍然保持原来的操作控制。

“优选公理”中的“统计显著性”是指指标均值上的差异显著性。根据冶金生产实际的特性,一般选择小子样统计推断理论中的  $t$  分布检验,来检验样本与母体的差异显著性。检验公式是:

$$t = \frac{E(f(\xi)) - E(f(X_0))}{\sqrt{\frac{n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad (5-1)$$

式 5-1 中,  $E(f(\xi))$  与  $E(f(X_0))$  分别为某一指标样本  $\{f(\xi)\}$  与  $\{f(X_0)\}$  的

平均值,  $n_1, n_2, \sigma_1, \sigma_2$  分别为它们的数据量和标准差。当  $t \geq t_\alpha$  时, 则按照小子样统计推断理论说明  $E\{f(\xi)\}$  与  $E\{f(X_0)\}$  在  $1-\alpha$  水平上显著差异。

计算机强大的数理统计计算功能和数学上的迭代算法, 为我们按照“优选公理”寻求高炉冶炼过程的最优控制创造了生产在线优化的可行性。

在最佳炉况状态基础上的随机最优控制的自动化计算, 奠定了高炉过程自动控制的模型基础。

### 5.2.2 炉况等级判断的自动化

随着高炉过程最佳状态的确定与随机最优控制模型的建立, 高炉冶炼过程达到高利用系数与低焦比的过程优化控制也就建立起来。由于高炉过程能耗的非线性, 因此还需要进一步判断当前高炉的炉况等级, 按照炉况等级进行炉温的动态控制。

在排除异常炉况的前提下, 对正常的炉况等级进行判断, 按照不同等级所消耗的焦比不同来确定配料负荷的调整, 使炉温的控制建立在与最佳炉温对比的非线性计算基础上。它不仅避免炉温“过热”或“过凉”的发生, 而且能够以最低能耗保持炉况顺行。

在“高炉炼铁优化专家系统”中, 以 8 项主要参数来描述高炉的炉况等级。这 8 项参数是: 风量  $FQ$ , 透气性  $FF$ , 炉温  $[Si]$ , 炉渣碱度  $(R)$ , 鼓风动能  $BE$ , 焦炭负荷  $OPC$ , 平均料速  $LS$  和综合冶炼强度  $ZI$ 。应用规范化变换公式:

$$R_{inf} = \frac{X_{inf} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}, R_{sup} = \frac{X_{sup} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}, Y = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (5-2)$$

我们可以将 8 项参数按照各自的变化范围映射成图 5-1 所示的炉况等级综合判断图。

图 5-1 中, 外圆是各项参数的变化上限, 内圆是参数的变化下限, 中间圆则是各项参数变动的平均值。各项参数如在优化范围内变动, 各点的连线将组成一个凸多边形, 此为最佳炉况。如果某项参数过高或过低, 那么凸多边形在该方向上将伸出外圆或缩进到内圆, 成为不规则的多边形。这样, 图 5-1 给出一个直观的炉况等级判断图, 帮助工长一目了然地把握当前的炉况水平。

### 5.2.3 炉况故障诊断与报警的自动化

炉况故障诊断是高炉“专家系统”的重要组成部分。炉况故障诊断包括两个层次的诊断。

其一是炉况故障发生时, 计算机自动判断和报警, 提示工长采取有力措施排除故障, 以免酿成更严重的事故; 计算机的这种人工智能应用比较容易检验, 即计算机报告炉况故障发生, 工长在检查中也看到已经发生了炉况故障。

其二是在炉况故障的征兆发生时, 计算机就能够给予智能化诊断, 提示工长采取针对性的措施, 消除炉况故障征兆, 从而有效避免了炉况故障征兆的进一步发

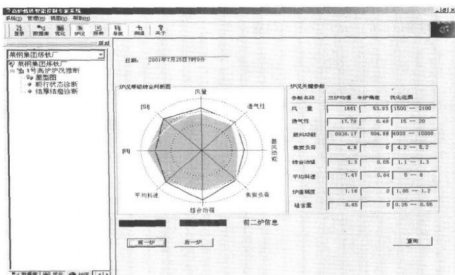


图 5-1 炉况等级综合判断图

展,保持高炉在优化状态下运行。计算机的这种智能化应用较难验证,并且存在着某种数学悖论。因为工长在获悉炉况故障征兆预警后,只要采取了相应的措施,那么炉况故障就可以避免了。因此,在复杂情况下,不同的人会对计算机的预警产生两种推断:一种认为计算机预警正确,对工长的措施起到指导作用;另一种则认为计算机的预警错误,因为所预警的情况并没有发生。后一种推断就是典型的数学悖论,论者使用了计算机预警信息的价值,却推断说预警信息没有价值。在实践中应当避免这种推断的数学悖论。

生产实践说明:炉况故障征兆的预警比炉况故障的报警更重要,更有价值。在应用“炼铁优化专家系统”实践中,高炉连续一年多不发生悬料故障就是依靠高炉过程的优化控制和炉况异常征兆预警软件的提示取得的。

对异常炉况的预测与避免,对炉况等级的判断与确认,这是进行高炉过程智能化控制前提工作。如果把将要发生的异常炉况当作正常炉况处理,其结果必然导致炉况平稳控制的失败。不同炉况等级下能耗各不相同。如果不按照非线性规律来计算控制量,必然导致炉温调控达不到预期效果,发生炉温“过热”或“过凉”。而如果在看到炉温“过热”或“过凉”时才采取措施,那么炉况故障已经难免发生。

在高炉冶炼过程中,异常炉况主要指“炉墙结厚炉瘤”、“悬料”、“管道”和“炉缸堆积”等故障。这些异常炉况的发生都有相关参数的各种征兆。按照炼铁专家提供的故障发生逻辑与判断依据,建立起计算机自动巡回检测的炉况顺行状态判断图,如图 5-2。当发生炉况故障征兆时,图 5-2 即自动显示在优化机上,提示工长及

时采取相应措施,消除异常征兆。如果没有故障征兆,则不显示。图 5-2 是某高炉发生悬料事故前的一次炉况异常报警画面。

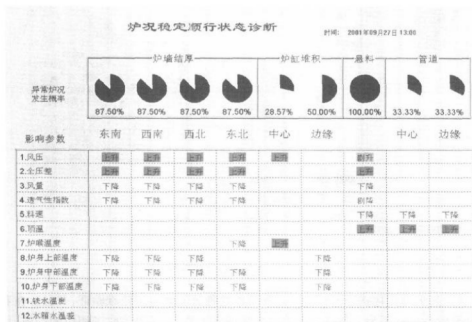


图 5-2 炉况顺行状态智能判断图

图 5-2 中根据该座高炉的检测条件与炼铁专家知识,对异常炉况的推理判断所依据的“影响参数”中,12 项参数分别为:风压、全压差、风量、透气性指数、料速、顶温、炉喉温度、炉身上部温度、炉身中部温度、炉身下部温度、铁水温度以及水箱水温差。它们的状态是引起炉墙结厚结瘤、悬料、管道和炉缸堆积等 4 种故障的征兆。不同高炉的检测条件与专家知识不同,所列的“影响参数”项目不同。各种征兆的临界值是在实践基础上总结出来的,存放在专家知识规则库中。例如,对于风压 FP 变化的“定义”是(记为::)

风压上升:: $\{FP(n) - FP(n-1) > 0\} \cap \{FP(n-1) - FP(n-2) > 0\}$ ;

风压剧升:: $\{FP(n) - FP(n-1) > d_1\} \cap \{FP(n-1) - FP(n-2) > d_2\}$ ;

风压下降:: $\{FP(n) - FP(n-1) < 0\} \cap \{FP(n-1) - FP(n-2) < 0\}$ ;

风压剧降:: $\{FP(n) - FP(n-1) < d_3\} \cap \{FP(n-1) - FP(n-2) < d_4\}$ 。

其他影响参数变化的定义与此同理进行。

在计算机屏幕上显示的图 5-2 上方,可以看到以黄色与红色圆盘反映“异常炉况发生概率”。通过图 5-2 数学模型总结炼铁专家对炉况故障的判断,计算机能够细致地判断各种状态,并且以智能化判断结论提醒高炉工长注意及时采取措施消除故障征兆,从而保持炉况的稳定顺行。

同样,设备故障诊断也是高炉冶炼进程顺行的基本保障。对冷却壁、风口、渣口以及炉底侵蚀状态的设备诊断也是专家系统必要的组成部分。对其设备故障征兆预警的智能化能够有效地保障生产过程的安全顺行。

#### 5.2.4 信息传送自动化与“专家系统”的三位一体应用

##### 5.2.4.1 高炉主控制室的信息网络化

高炉主控制室的信息网络化是以优化站为服务器,通过网络通讯软件,把槽下配料数据、卷扬上料布料数据、热风炉车间鼓风、富氧数据、高炉本体温度压力流量数据、喷煤数据、冷却系统数据以及煤气成分数据、铁水在线测温数据等全部采集、汇总到服务器的数据库中,形成网络化的信息系统,形成高炉工长对冶炼过程的集中监控。

同时,它又与铁厂调度室的服务器联网,从而采集到其他方面的数据,如化验室、过磅站的数据。通过各方面数据的联网,实现数学模型工作过程的“办公自动化”,为工长控制调整炉况及时提供完备的信息。

##### 5.2.4.2 铁区的信息网络化与管理-技术-控制一体化

铁区计算机网络包括厂调度室的服务器、化验室终端、铁水过磅站终端、厂长办公室终端、生产统计科终端、技术科终端等部分。铁区计算机网络的形成,使高炉控制室的计算机网络不再是“信息孤岛”,而能够实现生产过程的数据资源共享。即高炉控制室的信息资源不但为工长的过程操作服务,而且,也为技术科进行技术分析与冶炼过程优化、为生产统计科进行统计汇总服务;也是炼铁厂长进行生产最优决策的数据资源。技术分析与优化决策是直接应用“智能控制专家系统”的相关软件。

例如,铁水炉渣成分数据由化验员在化验室终端直接录入“专家系统数据库”,不仅改变了电话传递数据既慢又容易出错的落后状态,而且使工长能够在计算机上自动化地得到炉温预报数据,使炉温的预测控制更及时有效。

#### 5.2.5 高炉冶炼过程的智能控制自动化主流程

综上所述,为建立高炉过程的智能化控制系统,需要在各个子工序、各个优化环节上开发不同类型的数学模型。如:多目标系统优化模型、变频统计与样本空间模型、集合优选模型、多元统计模型、时间序列模型、回归模型、滤波模型、热平衡与物料平衡计算模型、配料优化模型以及延伸到生产过程的管理与成本分析模型等。只有切合实际综合应用不同类型的数学方法,才能逐层建立起符合生产实际的过程优化控制。

专家系统投入高炉生产运行2~3个月,数据库积累了丰富的原始数据。通过调用系统优化模块即可对生产过程的主要参数进行优化分析计算。写出高炉运行的《系统优化分析报告》,通过技术培训统一工长对“专家知识规则库”中相关的知识规则的认识。从而为高炉过程的多目标优化运行奠定专家知识基础。

此后不同阶段的系统优化分析则可按照确定的工作流程由计算机自动完成。

高炉冶炼过程智能控制的计算与判断流程如图 5-3 所示。该流程是与高炉冶炼过程的信息流密切联系的,并且由不同时间的新信息激发程序开始新的运行。图 5-3 还示出了在各子模型的基础上,高炉过程智能控制自动化的循环工作流程。主流程的主要功能是:

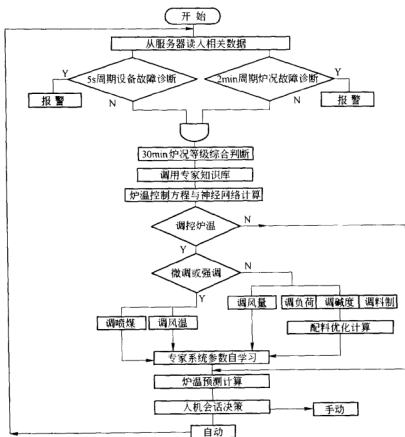


图 5-3 高炉冶炼过程智能控制自动化主流程

(1) 以一定频率,例如每 2s 进行 1 次常规设备与部件安全运行扫描和智能化判断,一旦发现设备故障,例如冷却壁漏水或风口、渣口冷却系统故障,则计算机自动判断、报警,保障设备安全运行。

(2) 以一定的频率,例如 5min 进行一次“炉况异常征兆”的智能化判断扫描。如果出现炉况异常征兆,则计算机智能化程序自动地发出预警,提示可能发生的故障,提醒工长注意采取有效调剂措施,消除故障的隐患。

(3) 经过设备安全与炉况顺行的智能化判断后,如果确定炉况为平稳工作状

态,则计算机每 30min 计算一次炉温控制方程及其结果,并且提出优化控制方案。

(4) 对铁区局域网上最新输入的化验数据,计算机按照一定的时间频率及时自动地进行《配料单》的核算,预测原燃料变动对炉温[Si]与炉渣碱度的影响。为工长提供智能化炉温控制新方案。

### 5.3 智能控制自动化的计算机网络基础

#### 5.3.1 “智能控制专家系统”的计算机网络概述

高炉炼铁过程所采集的大量数据对控制生产进程具有至关重要的作用。建立计算机网络系统的目的就是使得这些繁杂的数据在生产过程中实时、快捷、准确地传递到高炉主控室,成为生产优化控制的信息源。它也在很大程度上减轻了工长的手工劳动和基本消除了数据传输过程中的人为造成的种种误差。

炼铁优化计算机网络系统从网络类型可以分为两大部分:下层部分为由 MODICON(或其他系统)构成的工业控制网;上层部分是由服务器和各优化站构成的铁区局域网。与“智能控制专家系统”配套的 MODICON 工业控制网包括了高炉本体监控、热风炉监控、槽下称量和卷扬上料布料监控、喷煤监控等几个部分的 PLC 构成。各部分的 PLC 之间由 MODICON 的 MODIBUS+ 现场总线连接成工业控制网(见图 5-4)。负责显示 PLC 监控数据的监控终端(软件系统由 WIN98 平台和 FIX6.5 构成)分别挂在各个 PLC 所构成的工业控制网上。各个 PLC 子网可以直接连接,也可以通过网桥相连。

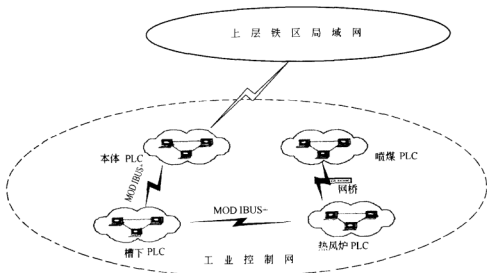


图 5-4 高炉流程工业控制网络拓扑图

铁区局域网由现场操作层、管理决策层和维护层构成(见图 5-5)。其中现场操



作层由高炉主控室局域网、调度室服务器、化验室终端等几个部分构成。高炉主控室局域网内部由 5 类线构成星形网络,主要部件为联想 100M 交换式 HUB 和各个机器的 100M 的网卡。铁区局域网和调度室局域网之间的连接由光纤构成,包括了光纤路由和两端的光纤收发器。从光纤收发器下行的信号通过 UTP 端口分别接入两个局域网。化验室终端通过 5 类线接入位于调度室联想 100M 交换式 HUB。管理决策层由炼铁厂办公楼局域网构成,包括了技术科的终端和厂领导的终端。此层和现场操作层的连接通过光纤相连于调度室。系统维护层分为现场维护和远程维护两部分,主要是现场维护,现场维护由高炉控制室内的计算机和调度室联网构成。远程维护是指由本系统的开发单位——浙江大学系统优化技术研究所的实验室服务器与高炉主控室优化站之间联网进行的特殊软件维护,它可以帮助用户及时排除软件系统运行中发生的特殊故障,确保生产正常进行。

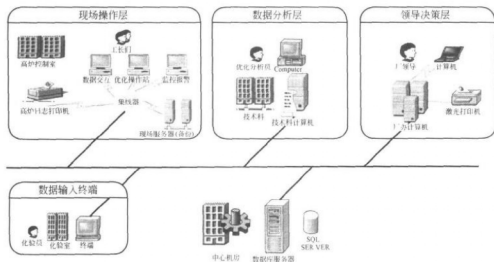


图 5-5 铁区局域网拓扑图

“专家系统”的计算机系统由处于工业控制网内的监控操作站、PLC 系统以及处于铁区局域网内的服务器和优化站构成。由于 PLC 系统和监控操作站已经处于正常使用和维护中,在此不再过多叙述。现按照铁区局域网络构成,分别介绍网络各部分的使用情况。

### 5.3.2 铁区的信息传送网络

根据专家系统功能要求,围绕炼铁工艺的信息流传递环节进行信息化网络化的基础建设的子项目与联网的站点包括:

- (1) 高炉本体温度、压力、流量等参数的在线自动采集;
- (2) 槽下控制系统联网,实现分批重、分矿种、焦炭的称量数据自动采集;

- (3) 卷扬系统联网,实现布料参数的自动采集;
- (4) 化验室终端,实现原燃料、铁水、炉渣、煤粉、焦炭的分析与检验数据联网;
- (5) 过磅站终端,实现铁水称量数据自动入库;
- (6) 喷煤系统终端,实现喷煤速率、喷煤压力数据自动采集;
- (7) 热风炉子系统联网,实现鼓风参数的自动采集;
- (8) 炉顶煤气自动采样系统的数据自动采集;
- (9) 厂部管理部门(厂长办公室、调度室、技术科等部门)的用户终端。

铁区局域网的服务器设在炼铁厂调度室,并与高炉主控室的服务器联网,从而形成信息流网络化。这是实现“智能控制专家系统”的在线自动运行所必需的基础条件。它加快了“专家系统”的信息流实时传递,这对工艺过程数学模型的自动化运行是十分重要的,也是工长实时掌握过程的动态变化所必需的。例如:喷煤量变动对炉温影响的计算,原燃料成分变化是否需要变料的计算,铁水、炉渣成分对下一炉炉温影响的预测计算,以及槽下称量数据,无钟炉顶布料参数,热风炉送风参数等等对炉温、炉况影响的计算与判断等等。这些参数信息及时传递到高炉主控室,就能够为“专家系统”在线计算与判断提供最新的重要信息。

专家系统的网络配置示意图如图 5-6。

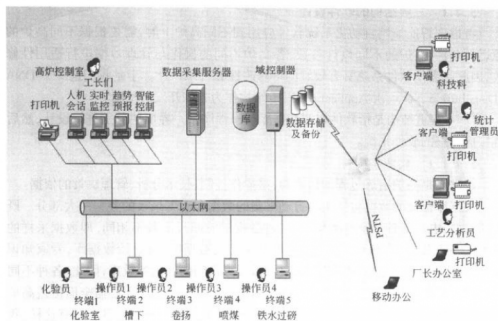


图 5-6 “智能控制专家系统”网络配置拓扑图

### 5.3.3 炼铁厂管理决策与技术分析的办公自动化网络

智能控制专家系统的数据库涵盖高炉冶炼过程的信息,基于计算机数据资源

共享的特性,根据炼铁厂厂长对管理功能的要求,我们设计了厂部办公自动化网络系统。它包括:厂长(含主管生产与科技的副厂长等)终端、技术科终端、生产统计科终端等。

厂长终端的功能使得厂长能够在自己的办公室直接监控到高炉的操作参数,能够对外部的原燃料条件进行分析,能够对生产的统计数据在线查询。从而对高炉生产的优化决策作出判断和决策。

对于高炉冶炼过程的技术分析,过去,技术科炼铁工程师需要到高炉抄数据,然后手工计算分析。这些常规技术分析流程在专家系统运行条件下,技术科工程师完全可以在技术科终端在线进行技术分析,并且以最快的速度反馈信息到高炉和厂长办公室,从而有力地促进高炉冶炼过程的优化控制。

由于各种统计的原始数据都已经采集到专家系统数据库中,因此各种消耗统计分析、成本统计分析以及生产统计分析都可以由专家系统采集的数据进行统计汇总。这大大减轻了统计科原来手工录入数据的工作量,提高了统计工作的效率和精度。

## 5.4 智能控制自动化系统的软件设计

### 5.4.1 三层结构的软件设计

考虑到智能控制自动化系统软件应用到不同高炉上时,需要根据不同高炉的原燃料条件、高炉的不同设计参数、各高炉不同的操作与管理习惯进行适用性修改,因此必需使软件系统具有较好的可修改性和可维护性。于是我们选择了 DNA (Distribution Network Application)三重结构作为软件开发的基础。

DNA 三重结构是指软件按照数据库层—程序层—界面层分别进行设计,然后链接成完整的软件系统。

#### 5.4.1.1 数据库层

数据库是高炉冶炼过程的信息源,是操作控制、技术分析、管理决策的依据。

数据库存储的数据包括实时自动采集的数据和手工录入的数据两大部分。既包括数据,也包括各种字符类信息;各种数据的时间尺度各不相同,即数据采样的频率也各不相同;有分钟级数据库,也有小时级数据库;有原始数据库,专家知识库,还有由原始数据通过优化计算、自学习计算得到的优化参数库;因此,各种不同类型数据需要设计不同的数据库分门别类管理。数据库的建立必需全面覆盖高炉生产过程的有用信息,即所有与生产过程具有因果关系的一切信息。只有这样,我们才能够通过数据挖掘技术,从这些信息中计算出或推导出有价值的结论。

#### 5.4.1.2 人机会话界面层

人机会话界面层的设计关乎专家系统软件的应用效果。鲜明色彩、图表形象的界面能够让工长一目了然地把握高炉过程的特征和操作依据,达到较好的人机

互动效果。并且,不同高炉的装备条件不同,人机界面就会有所不同。因此,经常需要按照操作者的要求重新设计界面,以便于使用。

一幅人机会话界面的设计需要尽可能集中相关的信息,尽量减少画面的反复切换。

在某种意义上,人机界面的设计需要美工和行为科学专业人员参与,这样能够取得较佳的生产应用效果。

#### 5.4.1.3 程序层

程序层是专家系统软件的技术核心。高炉过程的各种复杂性都要通过数学模型给予描述。一种数学模型如果能够反映高炉过程的客观实际,它计算的结果或判断的结论就能够与实际吻合,其预测结果就能够有效地指导生产操作控制。因此,程序层的基础是数学模型技术。

程序层的程序包括数据预处理程序(滤波程序)、按照各种数学模型的需要进行的工艺计算、数值计算、数据变换、对比判断、逻辑推断以及统计检验等等。

#### 5.4.1.4 DNA 三层结构软件工作流程图

DNA 三层结构软件的工作流程图如图 5-7 所示。图中看到:由 PLC 在线自动采集的数据,化验室等网络终端输入的数据,以及值班工长通过人机会话界面录入的数据构成了高炉冶炼过程的信息来源,它们存入数据仓库分类为基础数据库、专家知识库和优化参数库。工长通过人机会话界面调用数学模型运算模块进行原始数据的加工处理,得到生产运行的各种规律,实现高炉过程的智能化控制。

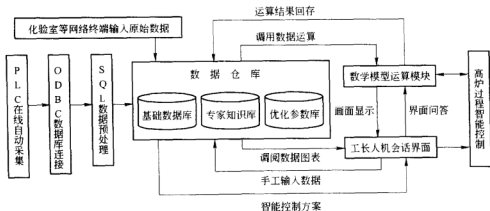


图 5-7 三层结构软件工作流程图

### 5.4.2 软件系统的主要功能模块

网络版智能控制专家系统的软件模块包括以下内容:

- (1) 数据仓库模块,包括原始数据库,专家知识库和优化参数库;

- (2) 设备故障诊断模块;
- (3) 炉况故障诊断模块;
- (4) 配料优化计算模块;
- (5) 多目标系统优化模块;
- (6) 冶炼强度优化模块;
- (7) 时间序列分析模块;
- (8) 统计对比分析模块;
- (9) 作业管理报表模块;
- (10) 化验室数据录入子系统。

## 6 “高炉炼铁优化专家系统”的应用工程与效益

1999 年国家科技部批准浙江大学为《国家级科技成果重点推广计划》项目——“高炉炼铁优化专家系统”的技术依托单位。在冶金部炼铁专家的大力指导和支持下,在浙江大学和有关钢铁企业的通力合作下,该项目已经成功地推广应用于济钢 350m<sup>3</sup> 高炉、新临钢 380m<sup>3</sup> 高炉和莱钢 750m<sup>3</sup> 高炉等不同容积的高炉上,并且取得显著技术经济效益。以下通过 3 个案例论述“高炉炼铁优化专家系统”的应用工程及其效益。

### 6.1 案例 1:“炼铁优化专家系统”在济钢 350m<sup>3</sup> 高炉上的应用

济钢 1 号高炉于 1998 年 7 月开始应用“专家系统”。他们是在考察杭钢 1 号高炉炼铁优化操作计算机系统应用取得显著成效之后,确定应用该系统的。该高炉控制室已有 MODICON 984 系统在线采集、监控高炉过程数据。新增 2 台优化机与之联网采集数据,运行专家系统。1 台优化机用于人机会话,输入工艺参数,建立数据库,调阅冶炼过程优化规律。另一台则用于炉温发展的预测监控。

“专家系统”的应用成效包括:提高利用系数 0.1t/(m<sup>3</sup>·d),实现高炉利用系数突破 3.0 t/(m<sup>3</sup>·d),降低焦比 14kg/t,实现入炉焦比降到 400kg/t 以下,改善了铁水质量,[Si]的方差从 0.157%降至 0.11%,炉温数值预报命中率达到 85%,趋势预报成功率达到 90% 以上。应用“专家系统”的典型事例之一是成功解决了长期烧风口的难题,风口烧损每年减少了 50 多个。1999~2000 两年中新增经济效益达到 1000 万元以上。

济钢认为:“专家系统”为高炉生产的优化组织与资源的优化配置提供了新思路、新方法,帮助 1 号高炉探索出一条操作、管理的新路。在该厂 6 座高炉同等条件下,1 号炉各项指标处于领先水平,实现高炉连续 15 个月无崩料、悬料事故,达到了炉况的长期稳定运行。

#### 6.1.1 概述

1998 年 8 月,由济钢集团公司与浙江大学合作完成的“炼铁优化专家系统”在第一炼铁厂 1 号高炉控制室投入生产运行。该系统在不增加基础自动化投资的条件下,充分利用高炉的现有条件,依靠功能丰富的数学模型弥补硬件条件的不足,通过科学管理,优化操作,实现在线相对炉温数值预报、趋势预报和平稳时间序列

控制。在高炉控制室局域网与厂部小型机服务器联网后,与调度室、生产科、科技科等管理部门数据资源共享,方便了管理人员随时掌握高炉生产的各类信息。“炼铁优化专家系统”的应用,不仅带来传统的生产、技术与管理的进步,而且创造了重大的经济效益。

研究人员在总结十多年实践经验基础上,成功地开发出密切结合炼铁工艺原理的数学模型,并综合集成 DCS 数据采集技术、自动控制技术、计算机网络技术和软件工程技术,形成了一套不仅具备生产过程系统优化能力,而且能够把炼铁专家和生产现场的判断经验变成计算机智能化判断的符合中国高炉特点的专家系统。

### 6.1.2 “炼铁优化专家系统”的设计

#### 6.1.2.1 高炉控制室的硬件设计

1号高炉控制室原已配置1套MODICON公司的984集散控制系统,采集上料系统的称量数据、炉体各部位温度数据、送风作业、喷煤、煤气自动分析等60多项原始数据。2台工控机“操作站”监测实时数据数值显示及报警等。1号操作站集中监测上料参数,2号操作站集中监测温度、压力、流量等参数的数值显示,必要时可调阅趋势图等画面。

济钢第一炼铁厂“炼铁优化专家系统”的计算机网络配置示意图如图6-1所示。

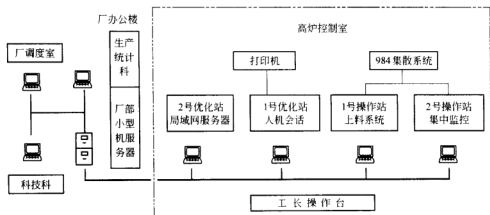


图 6-1 济钢一铁厂“炼铁优化专家系统”计算机网络配置示意图

在新增“炼铁优化专家系统”时,考虑到充分利用现有设备,降低投资,仅添加2台“优化站”工控机运行“专家系统”。1号优化站为人机会话窗口。通过“人机会话”界面手工输入生产过程的离线数据,如入炉原燃料化验数据、铁水、炉渣化验与计量数据、风口渣口更换数据等等。采集站实时自动采集的数据经2号优化站数据预处理后存入数据库。在1号优化站,通过总菜单可调用各软件功能模块。

各类生产管理统计报表可由 1 号优化站的 Star3240 打印机打印出来。2 号优化站动态在线显示“相对炉温综合判断图”画面。它是工长在生产过程十分重视的一个智能化“软件仪表”,同时也是局域网服务器。

### 6.1.2.2 系统软件设计

高炉控制室的局域网首先要保证高炉计算机系统工作的可靠性,同时,它还要与厂部办公楼的小型机服务器相连,进而与厂调度室、生产科、技术科等管理部门的终端联网,实现多用户操作。不仅保证了系统整体资源的合理使用,而且其可靠的数据稳定性和安全性、图形化的用户界面,使管理部门各终端可随时从服务器的数据库中调阅 1 号高炉的实时生产数据,察看生产情况。

从系统设计功能上看,专家系统可分为 4 层:(自动/手工)数据采集层、车间管理层、参数优化计算层、生产调度决策层,这 4 层基本涵盖了高炉生产过程的所有内容。这样的系统设计加强了高炉生产的科研、管理和优化决策,提高了高炉的管理效率和工长操作水平,也为企业进一步建立 MIS 系统创造了良好的条件。软件模块总菜单如图 6-2 所示。

1. 数据表库	2. 炉温预报	3. 炉况推断	4. 配料布料	5. 图表监测
6. 冶强优化	7. 优化决策	8. 管理报表	9. 时间序列	A. 统计分析
B. 联机帮助	C. 系统维护			D. 退出系统

图 6-2 “炼铁优化专家系统”软件模块总菜单

## 6.1.3 “炼铁优化专家系统”的特色——软件仪表

### 6.1.3.1 系统总菜单

12 个模块各自包含二级、三级子菜单。“炼铁优化专家系统”按照生产与管理的需求,包容了多方面的服务与辅助功能。

### 6.1.3.2 数据库与数据表

完备的过程数据库是炼铁生产过程进行系统分析与优化的基础。数据库不仅要包括自动采集的各种原始数据,工长手工输入的各种原始数据,而且要包括按照工艺原理和最优化数学模型计算生成的各种数据,并包括各种常规记录。“专家系统”中仅炉长、工长直接使用的各类常驻数据表就有 30 多个,数据表字段达 1100 多项。数据库菜单按功能和统计要求分类覆盖了《高炉作业日志》中工长关心的所有工艺数据。由数据库得到的各种统计汇总数据大大减轻了工长作业中的繁琐、重复的脑力劳动。

### 6.1.3.3 “优化操作提示”模块

为方便工长检查生产过程中各类重要参数是否正常,在出铁表、作业表、炉渣



分析表、原料表、焦炭表、炉体温度表、煤气表等7个数据表设置了10幅“优化操作提示单”，对每一个数据表中重要参数的变动情况，根据参数值自动作出智能判断。是“正常波动”，还是“过热”或“过凉”，“偏高”或“偏低”等，一目了然。各项参数的“优化范围”，是系统优化计算结果经炉长确认后，保存在“专家知识库”中，作为专家系统智能化判断的依据。

#### 6.1.3.4 工艺参数优化规律计算模块

高炉炼铁工艺理论上所阐述的优化目标是：“优质、低耗、高产、长寿”，日常操作方针是：“安全、顺行、稳定、均衡”。这些工艺定性论述的数学模型定量计算，我们可通过建立多目标、非线性、随机规划的“样本空间模型”来进行。从数学上讲，应用样本空间模型进行优化计算的实质是求解带约束条件的数值变分问题。用积分公式描述高炉炼铁过程在炉温 $[Si]$ 与质量 $[S]$ 约束条件下的产量与消耗双目标优化，得到如下公式：

$$\int_{\tau}^{\tau+T} F_1 \left( Y, \frac{\partial Y}{\partial t}, Z, \frac{\partial Z}{\partial t}, X, \frac{\partial X}{\partial t}, H, \frac{\partial H}{\partial t} \right) dt = U_t \rightarrow \text{Max} \quad (6-1)$$

$$\int_{\tau}^{\tau+T} F_2 \left( Y, \frac{\partial Y}{\partial t}, Z, \frac{\partial Z}{\partial t}, X, \frac{\partial X}{\partial t}, H, \frac{\partial H}{\partial t} \right) dt = K \rightarrow \text{Min} \quad (6-2)$$

$$\int_{\tau}^{\tau+T} F_3 \left( Y, \frac{\partial Y}{\partial t}, Z, \frac{\partial Z}{\partial t}, X, \frac{\partial X}{\partial t}, H, \frac{\partial H}{\partial t} \right) dt = [S] \in [S_1, S_2] \quad (6-3)$$

$$\int_{\tau}^{\tau+T} F_4 \left( Y, \frac{\partial Y}{\partial t}, Z, \frac{\partial Z}{\partial t}, X, \frac{\partial X}{\partial t}, H, \frac{\partial H}{\partial t} \right) dt = [Si] \in ([Si]_0 - A, [Si]_0 + A) \quad (6-4)$$

式中， $Y, X, Z, H$  均为参数向量。 $Y$  为原燃料参数， $Z$  为控制参数， $X$  为状态参数， $H$  为设备参数。各偏导数为其随时间变动的变差，积分区间 $[\tau, \tau + T]$ 为炼一炉铁的起始与结束时间，即  $T$  为冶炼时间。 $[Si]_0$  代表铁水中 $[Si]$ 含量的均值， $A$  则代表优化后 $[Si]$ 的标准差。式 6-1 代表产量泛函，求利用系数的最大化；式 6-2 代表能耗泛函，求焦比的最小化；式 6-3 代表质量泛函，求满足炼钢铁水质量要求的 $[S]$ 的波动范围；式 6-4 代表炉温泛函，要求炉温的平稳控制。式 6-1~6-4 包含数十项重要影响因素。在不同原燃料条件下，计算出可操作的重要参数的优化范围及其优化组合，可以达到高炉生产的多目标优化。

从“利用系数— $[Si]$ 优选图”(图 6-3)，“利用系数—渣碱度优选图”(图 6-4)；“炉温 $[Si]$ —渣碱度 $(R)$ 优选图”(图 6-5)；“风量  $FQ$ —透气性  $FF$  优选图”(图 6-6)等等可以得到参数最佳范围的直观结论。“系统优化图”成为工长实现优化操作得力的软件仪表。

#### 6.1.3.5 冶炼强度优化决策模块

炼铁工艺理论早已定性阐明，对治强的不同控制方针将导致不同的生产效果：

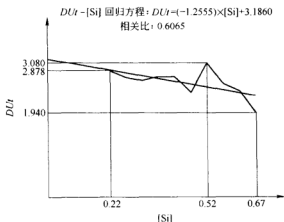


图 6-3 利用系数—炉温相关关系图

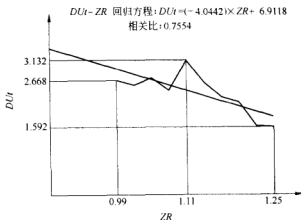
(图中炉温的单位为 %; 利用系数的单位为  $t/(m^3 \cdot d)$ )

图 6-4 利用系数—炉渣碱度相关关系图

(图中利用系数的单位为  $t/(m^3 \cdot d)$ )

冶强过低,高炉潜力不能充分发挥,利用系数低且焦比高。相反,冶强过高,虽可提高利用系数,增加产量,但要付出高焦比代价。怎样根据不同条件定量计算出冶强的最佳控制范围,得到较低焦比下的高利用系数?冶强优化决策模型提供了按炉计算的“等步长统计模型”与按生产样本计算的“变频统计模型”两种算法。这两种算法的综合应用可实现高利用系数、低焦比的多目标优化。

#### 6.1.3.6 炉况综合判断模块

炉况综合判断模块包括:炉况等级综合判断图(星形图);炉墙结厚结瘤推断图

(逻辑推断图);冷却壁冷却状态推断图(冷却壁温度状态展开图);炉况顺行状态推断图。通过数学方法把炉况异常状态下专家推断知识与经验用图形直观地、动态地表达出来。不仅在事故后总结经验教训时,图像清楚明了,而且能够起到事故预警作用。因此,本模块是典型的专家知识“可视化”。

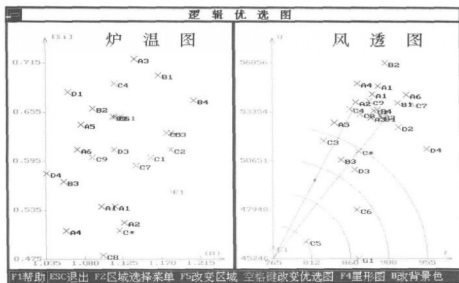


图 6-5 炉温[Si]—渣碱度(R)优选图

(图中[Si]的单位为%)

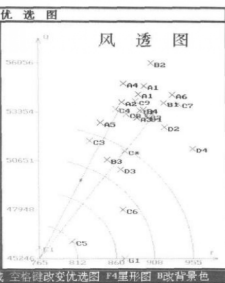


图 6-6 风量 FQ—透气性 FF 优选图

(图中风量的单位为  $\text{m}^3/\text{h}$ )

### 6.1.3.7 相对炉温预测控制模块

相对炉温预测控制模块是“炼铁优化专家系统”的一项创新。它的功能包括:

- (1) 相对炉温综合判断图(见图 6-7);
- (2) Feh-[Si]-[S]-(R)四元时间序列图;
- (3) 炉温状态推断图;
- (4) 数值预报命中率检验表。

图 6-7 实际上包括 3 部分数学模型。左半图是用时间序列模型描述炉温的中长期发展趋势。4 项参数是:小时出铁量 Feh 反映铁元素的还原速率;[Si]是炉温;[S]是铁水质量;(R)是炉渣碱度。右上图是当前 3 炉炉温的近期变动态势和优化操作提示。右下表是炉温[Si]的工长目测值、化验值、预报值与数值预报的“本期命中率”(即连续 24 炉预报的命中率)数据。“相对炉温综合判断图”的应用使 1 号高炉的[Si]稳定指数从 0.15%改善为 0.10%,按月份统计的[Si]预报命中率 1998 年为 75%左右,1999 年 4 月提高到 85%以上,炉温趋势预报成功率达到 90%以上,大大提高了炉况稳定顺行水平。

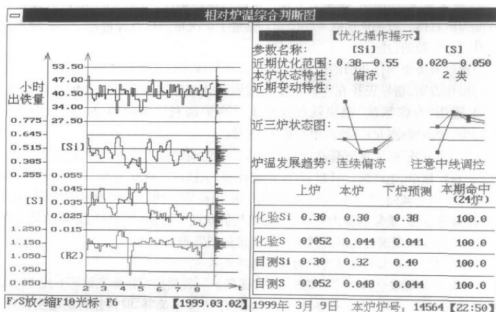


图 6-7 相对炉温综合判断图

#### 6.1.3.8 多元时间序列与多元统计对比

多元时间序列分析模块与多元统计对比分析模块是针对炼铁生产过程的复杂性和影响因素众多的特性设计的通用数学分析工具。它分类处理、考察众多工艺参数的时间变化特性和宏观分布特性。按 6 大类参数建立的二级子菜单包括: 原燃料条件、上料布料制度、送风作业、出铁出渣、炉体温度场、煤气流参数。多元统计对比模块使原来十分费时的统计对比工作变得十分简便。按子菜单确定对比的参数后, 输入对比的时间, 即可得到对比结果。每幅画面对比 4 项参数, 包括均值、均方差、最大值、最小值、数据量对比, 并且给出对比的差异显著性检验。它大大提高了炉长总结生产优化规律的工作效率。

#### 6.1.3.9 配料计算与配料优化模块

配料计算是高炉工长作业的重要环节。用计算器手工完成《炉料校核单》的各项计算十分费时。建立配料优化计算模块后, 工长只要输入矿批、焦批数据, 计算机即计算显示入炉料的焦比、进入铁水的 Si 量, S 负荷, 配料碱度及每批料的出铁量等工长关心的数据。由于建立了配料碱度与炉渣碱度的关系规律, 因此, 在确定炉渣碱度优化范围后, 配料碱度的优化范围也就定了。配料优化为炉温的平稳控制奠定了一个好的基础。

#### 6.1.4 “炼铁优化专家系统”的应用成效与效益

##### 6.1.4.1 改变了炉况管理的传统观念与工作方式

“专家系统”的应用,改变了工长传统的习惯性操作,从原来的感性、经验操作转变为以数据分析为依据的理性操作。推进了炉况精细化管理进程。工长的操作上升到一个新的台阶。

通过对历史操作业绩的优化分析,用电脑与数学模型代替人脑,计算出最佳指标的操作方案,指导工长在生产上主动按照优化规律实现炼铁过程的优化控制。例如,运用“专家系统”很快就可找到1号高炉高利用系数的 $[\text{Si}]$ 控制中心是0.45%,炉渣碱度( $R$ )的控制中心是1.18等。

“专家系统”强大的管理功能亦可取代传统的高炉管理报表。例如高炉作业日志、炉料校核单、生产统计日报、月生产统计表、生铁成本核算表等10余种报表,均可从计算机上调阅、查询、计算、打印输出,使用灵活方便。它减少了人工记录、整理、计算等繁琐、重复的脑力劳动,深受工长们欢迎。取消《高炉日志》等原始的手工记录报表,实现现代化的高效便捷的高炉生产管理。

#### 6.1.4.2 专家系统应用后的技术经济效益

1号高炉原来是济钢第一炼铁厂的“标杆炉”,各项技术指标在该厂6座350m<sup>3</sup>高炉中居先进水平。在这样条件下,工长应用“专家系统”仍取得显著的应用成效,说明计算机高新技术与炼铁工艺结合的巨大挖潜能力。表6-1列出应用专家系统前后指标对比,从中可以看到专家系统多目标优化的优势。

表 6-1 “炼铁优化专家系统”应用前后技术经济指标对比表

序号	指标名称	1号高炉	1号高炉	1号高炉	2号高炉	1号2号
		1998.4~1998.9	1998.10~1999.3	前后对比	1998.10~1999.3	同期对比
1	日平均产量/t	945	963	+18	960	+3
2	利用系数/ $t \cdot (m^3 \cdot d)^{-1}$	2.701	2.753	0.052	2.744	0.009
3	入炉焦比/ $kg \cdot t^{-1}$	438	428	-10	449	-21
4	喷煤比/ $kg \cdot t^{-1}$	95	104	+9	101	+3
5	综合焦比/ $kg \cdot t^{-1}$	505	501	-4	520	-19

经生产与财务部门确认,1号高炉应用“专家系统”的经济效益包括提高铁产量,降低焦比,增加喷煤比和减少风口烧损等方面。年经济效益为234万元。如果与2号高炉作同期比较,仅计算入炉焦比低21kg/t,其年经济效益达316万元。

#### 6.1.5 结语

济钢1号高炉“炼铁优化专家系统”投入生产运行取得成功的实践,再次证明350m<sup>3</sup>高炉在现有装备条件下,完全能够应用计算机和数学模型技术与炼铁工艺有机结合,用不多的投资,改进和提高炼铁的技术经济指标,取得丰厚的回报。随着时间的推移,工长对专家系统的深入掌握,其管理、技术、经济效益将会更加显

著。“炼铁优化专家系统”将成为“优化 350m<sup>3</sup> 级高炉生产技术,提高其生存能力”的一项综合措施。济钢高炉“炼铁优化专家系统”的成功应用开辟了一条开发具有我国自主知识产权与适合国情的高炉应用计算机的新路。

## 6.2 案例 2:“新临钢 380m<sup>3</sup> 高炉优化专家系统”的应用实践

### 6.2.1 概述

新临钢 6 号高炉(380m<sup>3</sup>)于 2000 年 12 月 13 日建成投产。2001 年元月,由浙江大学开发的“高炉优化专家系统”(简称:“专家系统”)正式投入生产在线运行。“专家系统”的硬件基础是由两台优化站、两台操作站和数据采集系统(PLC)构成。专家系统软件包运行在 2 台优化站上。值班工长通过人机会话界面调用专家系统的各个功能模块,包括数据库模块、配料优化模块、高炉参数优化模块、炉况诊断模块以及管理报表自动生成模块等,实现了高炉冶炼过程的优化控制,达到了改善技术经济指标的目的。

由于 6 号高炉是新临钢第一座投产的 380m<sup>3</sup> 高炉,因此对其生产特性大家都缺乏经验,各人的认识也不一致。“专家系统”的一个重要功能就是采集汇总大量生产过程数据,建成因果关系齐全的生产数据库。在数据库基础上,“专家系统”的优化模块能够进行快速、高效的数理统计分析,揭示了 6 号高炉的生产优化规律,并且对生产的进一步发展和提高提出了优化建议。我们根据这些建议确定关键参数的优化范围,取得了技术经济指标的不断改善。工长的操作也在优化的基础上取得一致。因此新炉开炉后生产每月指标稳步提高,没有发生高炉新开炉阶段经常发生的波折。

### 6.2.2 “专家系统”的构成

#### 6.2.2.1 “专家系统”的硬件配置

“新临钢 380m<sup>3</sup> 高炉优化专家系统”在高炉主控室的硬件平台包括 2 台操作站构成的实时监控系统和 2 台优化站作为“专家系统”运行的人机会话界面。4 台计算机组成高炉主控室的局域网,如图 6-8 所示。

图 6-8 中 PLC 数据采集系统自动采集槽下配料系统的各项称量数据,显示在 1 号操作站上;高炉本体的各种温度、压力、流量数据显示在 2 号操作站上,从而实现了基础自动化参数的实时集中监控。对于工艺过程未能自动采集的数据,如铁水称量与化验数据、原燃料及炉渣的化验数据、炉前出铁的目测数据等,则在 1 号优化站上由工长手工输入。同时,1 号优化站作为人机会话主界面,通过运行专家系统的各个模块,执行计算机应用于生产的各项功能。2 号优化站既是局域网服务器实现数据联网,同时它在线显示炉温发展的监控画面,指导工长实现对炉温的优化控制。在特殊情况下,它也起 1 号优化站人机会话界面备份的作用。

#### 6.2.2.2 “专家系统”的软件模块

专家系统的软件系统主流程包括 3 大模块:基本数据管理、系统优化分析和统

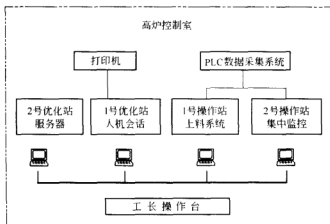


图 6-8 “新临钢 380m<sup>3</sup> 高炉优化专家系统”硬件配置图

计报表管理。其中系统优化分析模块是“专家系统”的技术核心,是快速、高效、不断总结高炉生产优化规律的模块。

#### A 基本数据管理模块

基本数据管理模块是通过 50 张数据表分别管理高炉冶炼过程各种基础数据库、专家知识库和优化参数库。它包括:原燃料数据表(原料表、焦炭表、煤粉表等);常规作业数据表(作业表、出铁表、出渣表、炉渣分析表等);作业变更数据表(上料布料表、料批计算表、调剂指令表、故障记录表等);专家知识库;风口渣口数据表(风口更换表等)以及温度压力状态表;冷却系统数据表;事务记录表;班组考核数据表;成本核算数据表;生产统计数据表;高炉设计参数表等。每一类数据表都包含若干个分表。

由于高炉冶炼过程的数据与信息十分复杂,采样周期不同,数据尺度不同,数据类型不同,数据在系统中使用的方法不同,因此需要建立 50 张数据表,才能够分门别类地全面管理高炉冶炼过程的各种信息。数据表具有按日期或炉号进行查询、修改、添加、删除等功能,工长能够十分方便地调阅各种数据,修改专家知识库中的基准数据,从而把握高炉冶炼过程的各种信息,改进高炉的操作。

#### B 系统优化分析模块

系统优化分析模块包括炉温的数值预报与智能控制模块、配料优化计算模块、冶强优化模块、质量—产量优化模块、时间序列分析模块、统计对比分析模块和系统分析图模块等。通过这些模块的在线优化计算,可以得到炉温—渣碱度、风量—透气性指数、焦炭负荷—鼓风动能、冶炼强度以及其他重要参数的优化范围及其优化组合。为炉长的优化决策和统一工长的优化操作提供数量化依据。正是由于追踪生产条件的变化不断进行优化计算,并且把优化计算结果与炉长、工长的经验密

切结合,因此带来高炉生产的稳定和潜力的不断挖掘。系统优化模块对工艺参数的优选情况,将在以下各点作典型的详细介绍。

### C 统计报表管理模块

优化站数据库中存储了高炉生产过程的全面信息,因此充分发挥计算机数据资源共享的特性,可以把原来手工计算、填写、汇总的《高炉作业日志》和各种统计汇总表,都由“专家系统”程序直接生成,从而大大提高了工长的作业管理工作效率,减轻了工长繁琐、重复的脑力劳动,使工长有更多时间进行优化分析。“专家系统”的这一优点被炼铁厂领导称为工长的“办公自动化”。

统计报表模块包括《高炉作业日志》的分解表、各种指标汇总表等常规的工长作业统计报表共有 15 张,如月生铁产量完成情况表、月主要冶炼指标和生铁成分表、月炉渣分析及渣量表、月入炉原燃料成分表、原燃料与煤气成分统计台账、送风作业日报表、出铁情况日报表、炉料配比日报表等。这些报表可以在 1 号优化站上查询。如果需要打印,只要点击该表上方的“打印机”图标,就可以打印出所需要的报表。

### 6.2.3 对冶强的优化

在高炉参数系统优化模块应用中,我们确定一项参数的优化范围是以前所对应的高炉利用系数和焦比的多少来衡量。如果参数所在区间对应利用系数高而且焦比低,则为优区。为分析方便,我们需要在“专家知识库”中设定利用系数的级别,如表 6-2。

表 6-2 高炉利用系数等级表

级别	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
$U_t$ 取值范围	$\geq 2.6$	2.5~ 2.6	2.4~ 2.5	2.3~ 2.4	2.2~ 2.3	2.1~ 2.2	2.0~ 2.1	1.9~ 2.0	1.8~1.9	<1.8

在开炉阶段利用系数比较低且焦比比较高,因此 A 级的利用系数的 A 级指标仅为  $2.6t/(m^3 \cdot d)$  以上。随着高炉生产水平的稳定提高,目前利用系数的 A 级指标已经提高到  $2.9t/(m^3 \cdot d)$  以上。

这样,我们就可以从专家系统的工艺参数系统优化模块得到利用系数—冶炼强度回归关系图和焦比—冶炼强度回归关系图(见图 6-9 和图 6-10)。

从图 6-9 的聚类分析可以看到,利用系数与冶炼强度之间的正相关回归关系是十分明显的:随着冶炼强度的提高,利用系数也不断提高,而且还有进一步提高的趋势。那么是不是冶强越高越好呢?在炼铁教科书中有定性的论断:这就是所谓的“锅底曲线”:冶强过低焦比高;冶强过高焦比高;只有合适的冶强能够得到低焦比。再看焦比—冶强的聚类回归图(图 6-10),焦比与冶炼强度的回归关系,随着冶强提高到  $1.5t/(m^3 \cdot d)$ ,焦比逐步下降达到最低点,当冶强越过  $1.55 \sim 1.60t/$



( $\text{m}^3 \cdot \text{d}$ )范围以后,焦比反而上升,形成一个“锅底曲线”。因此,冶强的优化选择就是这段“锅底”对应的  $1.55 \sim 1.60 \text{ t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$  之间。从而数量化地计算得到冶强的最优决策。在专家系统中另有关于冶强优选模块进一步验证,在此不再详细介绍。

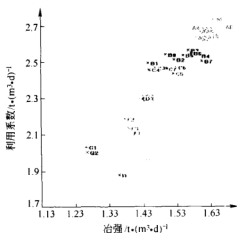


图 6-9 利用系数—冶强回归图

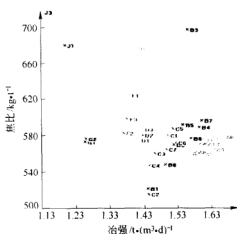


图 6-10 焦比—冶强回归图

#### 6.2.4 炉温[Si]和渣碱度(R)的优化选择

图 6-11 是应用[Si]-(R)二元分布图分析在各个小范围中利用系数平均值的分布情况。从中总结出利用系数较高的炉温[Si]优化控制范围是  $0.40\% \sim 0.55\%$ , 炉渣碱度(R)的优化控制范围是  $1.03 \sim 1.09$ 。同时,从炉温图(图 6-12)中,我们也可以得出相同的结论,这就为我们提供了炉温和渣碱度的优化控制范围。从 2001 年生产情况较好的 5 月份来看,月平均炉渣碱度为 1.07 比较适宜,而平均[Si]为  $0.63\%$ ,显然,炉温还有很大的潜力可挖,给我们提供了一个明确的工作思路。

接着,我们进一步用单炉利用系数  $DU_t$ -(R)回归图对炉渣碱度作更精确的优化。如图 6-13,对 2001.1.1~2001.3.31 这 3 个月 1000 多炉数据建立单炉利用系数与炉渣碱度的回归关系图。

从图 6-13 中可以看出,随着炉渣碱度的上升,利用系数呈起伏变动趋势,函数曲线是多峰函数,虽然炉渣碱度控制在 1.114 上有利用系数的最大值,但是波动也大。因此,从生产平稳顺行角度把碱度控制在  $1.03 \sim 1.06$  之间最好,既可达到利用系数相对较高的峰值,波动也较平缓,有利于炉况顺行,减少波动风险。

#### 6.2.5 对鼓风动能的优化

由炼铁理论可知,只有焦炭负荷加载到一定程度,炉内的热平衡才能够达到低

[Si]-(R)坐标下利用系数与碱度计算

碱度	0.97-0.99	0.99-1.01	1.01-1.03	1.03-1.05	1.05-1.07	1.07-1.09	1.09-1.11	1.11-1.13	1.13-1.15	1.15-1.17	均值累计
0.30-0.35				2.694	2.713						2.592
0.35-0.40		2.354	2.695	2.681	2.22						2.845
0.40-0.45		2.202		2.374	2.55	2.528	2.34		2.764		2.69
0.45-0.50			2.396	2.635	2.353	3.13	3.05	2.956	2.64		2.769
0.50-0.54			2.628	2.594	2.795	2.595	3.031	2.601			2.675
0.55-0.60			2.343	2.678	2.636	2.58		2.642	2.684		2.632
0.60-0.65			2.675		2.66	2.635		3.487			2.615
0.65-0.70		2.745	2.30	2.718	2.733				2.105		2.607
0.70-0.75	2.223	2.661	2.638	2.736	2.728	2.341	2.3	2.716	2.13		2.659
0.75-0.80	2.683	2.584			2.619		2.223	2.391			2.472
均值累计	2.51	2.618	2.657	2.579	2.681	2.57	2.504	2.827	2.401		2.612

图 6-11 利用系数与[Si]-(R)二元分布分析图

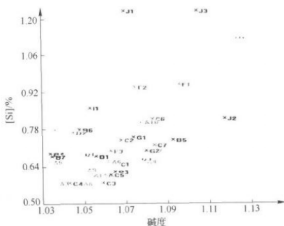


图 6-12 [Si]-(R)坐标下利用系数聚类分析图

硅冶炼的条件。但是焦炭负荷必须与鼓风动能相匹配,才能使炉况平稳顺行,二者之间的对应关系可以从焦炭负荷与鼓风动能匹配图(图 6-14)中看出来。

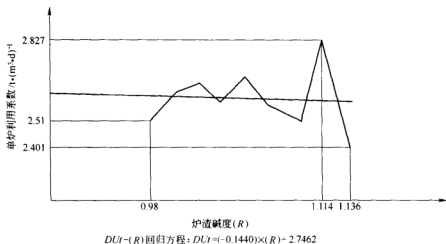


图 6-13 单炉利用系数与炉渣碱度回归图

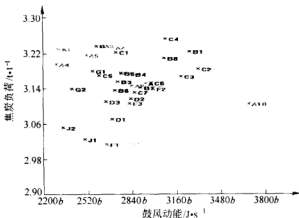


图 6-14 焦炭负荷与鼓风动能匹配图

利用系数的 A 级指标对应的焦炭负荷在 3.14~3.22 之间,对应的鼓风动能在 2840J/s 左右,这又为高炉操作参数的调整提供了一个重要的思路。

### 6.2.6 结语

应用“高炉优化专家系统”对高炉操作参数进行优化选择,在 380m<sup>3</sup> 高炉新炉阶段发挥了巨大的作用,使高炉在从开炉到 2001 年 5 月份,生产指标逐月迅速攀升。表 6-3 是 2001 年 1~5 月份各项技术指标完成情况。

表 6-3 新临钢 380m<sup>3</sup> 高炉新炉阶段指标情况表

时 间	利用系数 /t·(m <sup>3</sup> ·d) <sup>-1</sup>	焦 比 /kg·t <sup>-1</sup>	冶炼强度 /t·(m <sup>3</sup> ·d) <sup>-1</sup>	[Si]均值/%	焦炭负荷
1 月	2.029	592.1	1.263	0.89	2.472
2 月	2.324	565.9	1.352	0.69	3.094
3 月	2.468	562.8	1.391	0.66	3.172
4 月	2.564	553.0	1.415	0.63	3.223
5 月	2.741	551.6	1.511	0.63	3.201

随着高炉生产的进步,达到利用系数 A 级指标的炉数也将越来越多,只要不断地提高利用系数 A 级的标准,不断地对高炉操作的各项参数进行进一步优化,也就能不断地推动高炉生产的继续进步,达到高炉顺行、稳定、高产。

### 6.3 案例 3:“莱钢 1 号 750m<sup>3</sup> 高炉智能控制专家系统”

#### 6.3.1 概述

2001 年 6 月,网络版高炉“智能控制专家系统”投入莱钢 1 号高炉生产运行。这是莱钢与浙江大学合作,在国家科技部批准的《国家级科技成果重点推广计划》项目——“高炉炼铁优化专家系统”的基础上,总结济钢 1 号高炉(350m<sup>3</sup>)、新临钢 6 号高炉(380m<sup>3</sup>)的应用经验,结合 750m<sup>3</sup> 高炉的实际和信息网络技术的最新进展,开发、应用成功的高炉专家系统。该系统提高了以高炉主控制室为中心的信息管理效率,减轻了工长的脑力劳动强度,取得炉温平稳控制和降低焦比的成效,实现了“专家系统”操作—技术—管理“三位一体”的应用。

#### 6.3.2 “智能控制专家系统”的信息网络化基础

##### 6.3.2.1 “专家系统”应用的硬件基础

莱钢 1 号高炉应用“专家系统”前已经具备的基础自动化条件包括:槽下上料工序与卷扬布料工序的计算机控制;喷煤的计算机控制;热风炉车间送风系统的计算机控制;高炉主控室应用 MODICON 984 PLC 系统实现了在线采集、集中监控高炉本体和各子工序的工艺参数。炉顶装有无钟布料和十字测温装置。这些硬件为“专家系统”的应用创造了基础条件。

根据“智能控制专家系统”功能设计要求,在工艺方面为了提高炉温预测控制的可靠性,增加了炉前铁水测温。同时校正、完善了喷煤、料批等计量环节的数据采集。然而,差距最大的基础条件是高炉作业过程信息传递手段落后,效率低,时间滞后量大,信息不完备。信息化建设与基础自动化建设一样,是“智能控制专家系统”应用的硬件基础。

##### 6.3.2.2 专家系统的信息化网络化建设

在“炼铁优化专家系统”的推广应用过程中,由于高炉工长忙于炉前作业和信息输

人的手工处理量大,由于信息不能及时到位,常常影响专家系统的应用成效。因此,在莱钢1号高炉“智能控制专家系统”建设中,提出了信息网络化的设计要求,建立专家系统局域网。

“专家系统”局域网包括:在炼铁厂调度室设服务器,把与高炉生产有关的质检站化验室、自动化部过磅站以及厂长办公室和技术科等部门的PC机全部联网,进而通过主控室的优化站服务器与监控站、优化站全部联网,组成专家系统局域网。由于各部门原来都已配备PC机,因此,局域网建设只增加了1台网络服务器和相应的信息传输设备,如光缆、交换机与集线器等。由于信息技术的发展,计算机性能价格比下降,局域网的建设投资不多。

应用“专家系统”需要在高炉主控室新增2台PC机作为优化站。其中1台为高炉工长的人机会话界面,另1台为服务器并兼作炉温预测监控画面和“专家系统”备份。这样通过服务器与主控室原来的4台PC机监控站联网,将其实时采集的数据转换为“分钟级”数据,进而转换成“小时级”数据,保存在数据库中供“专家系统”数学模型使用。这样的网络结构能够保障当外部网络出现故障时,高炉主控室局域网仍然能够正常确保高炉生产的安全运行。

这样,高炉工长在主控室通过4台监控站集中监控着高炉冶炼过程各项参数的实时状态;通过2台优化站完成人机会话,应用“专家系统”,实现高炉冶炼过程的优化控制。同时在各客户端安装“专家系统”的客户端版本,实现了“专家系统”的多岗位应用。

图6-15为网络版“智能控制专家系统”的计算机网络示意图。

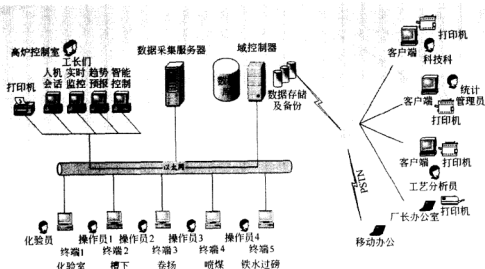


图6-15 “智能控制专家系统”计算机网络示意图

### 6.3.2.3 “专家系统”信息网络化的应用价值

化验室客户端联网后,原来靠电话传递到高炉、调度室的大批原燃料化验数据、铁水炉渣化验数据、焦炭、煤粉化验数据,现在由化验员从《化验数据录入子系统》直接输入到“专家系统”数据库中,实现数据资源共享。这不仅化验室提高了工作效率,而且高炉工长大大减少了手工录入数据工作量,减少了误码,提高了效率。更重要的是,化验员在第一时间输入到数据库的信息,使计算机能够在新数据到达时即可自动地完成炉温预报与配料校核等数学模型的运算与判断,及时地向工长提供炉温发展及其控制变动的信息。这样提高了智能控制“专家系统”应用的实时价值,丰富了“专家系统”的实时应用功能。

同时,“专家系统”局域网的建立为炼铁工程师在技术科应用“专家系统”完成高炉冶炼过程的技术分析创造了条件,为统计部门高效率地完成统计管理与分析创造了条件,为厂长直接监测高炉的生产操作情况,进行优化决策创造了条件,显著提高了技术与管理工作效率。

### 6.3.3 “智能控制专家系统”的功能设计

#### 6.3.3.1 功能设计依据

“专家系统”的功能应当全方位地服务于高炉工长的作业。它是工长智力劳动工具的延伸,因而必然成为工长作业的得力工具。

高炉冶炼过程涉及的工艺参数达数百项之多,高炉的炉况更是错综复杂。各方面的作业信息汇总到高炉主控室后,工长的炉内作业就是分析、计算、综合、判断,并结合个人的操作经验作出正确的决策,然后指挥各个子工序按照所确定的工艺参数范围进行调控,保持高炉的平稳运行和生产高效率。因此,高炉“专家系统”应当全面服务于工长这样的智力劳动过程,并且把工长的个人经验扩展为炼铁专家的集体经验和知识。

应用“作业研究”和运筹学理论研究工长的作业内容和功能,可以把高炉冶炼过程的运筹控制作业大致分为以下8个方面:

- (1) 原始数据的记录;
- (2) 生产作业数据的统计汇总;
- (3) 高炉设备与炉体运行状态监测维护;
- (4) 炉况顺行故障状态的判断与调剂;
- (5) 炉温发展的预测控制,包括变料与炉料校核计算;
- (6) 通过仪表或计算机画面考察各种参数的变化情况;
- (7) 炉前出铁作业;
- (8) 其他作业事项。

同时,工长作业的炼铁目标概括为:“优质、低耗、高产、长寿”,操作方针是“安全、稳定、均衡、顺行”。

工长的作业内容、炼铁目标和操作方针构成专家系统功能设计的依据。

### 6.3.3.2 专家系统的信息与决策工作流程

图 6-16 概述了智能控制专家系统的信息网络化工作流程。工长通过人机对话界面应用“专家系统”。“专家系统”调用数据仓库中自动采集数据、网络输入以及工长输入的基础数据,由数学模型运算和专家知识判断所得到的冶炼过程有关规律数据、智能判断结果数据。然后经过工长决策,成为高炉冶炼进程的智能化控制的措施。

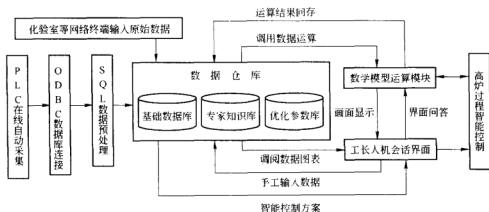


图 6-16 高炉冶炼过程智能控制的信息流程与决策流程

### 6.3.4 “智能控制专家系统”的主要功能模块

根据炼铁工艺的目标、操作方针和工长作业内容,“智能控制专家系统”设计的 7 大功能模块如下:

#### 6.3.4.1 数据仓库

数据仓库包括基础数据库、专家知识规则库和优化参数库。基础数据库又分为用于实时监测的“分钟级”在线数据库和专家系统长期保留的“小时级”原始数据库。

围绕传统《高炉作业日志》记录的原始数据,设计了 10 类 38 个数据表管理高炉作业过程的上千数据字段。包括原燃料数据表、常规作业数据表、作业变更数据表、风口渣口数据表、温度压力数据表、冷却系统数据表、事务记录表、班组考核数据表、成本核算数据表和生产统计数据表等。

专家知识规则库和优化参数库则包括系统参数设定的 12 个数据表(生铁级别、利用系数级别、原燃料名称、装料制度、故障类型、调剂类型、故障处理方式等),以及高炉设计参数表,参数优化范围设定表等等。

这些数据表为“专家系统”的数学模型运算、图表显示和智能化判断提供原始数据依据。通过多种数学模型和数据挖掘技术处理,可从数据仓库中总结出高炉

冶炼过程的优化规律。

#### 6.3.4.2 炉体与设备工作状态实时诊断

高炉炉体与炉缸、冷却壁、风口渣口等设备工作状态是否正常的检查与判断,是工长确保安全生产的第一项工作。对所涉及的上百项参数进行检查与报警,每5s自动巡回检查一遍,遇到参数超限状态显示报警画面,既减轻了工长的脑力劳动强度,也可避免人为的疏忽。

#### 6.3.4.3 炉况顺行状态诊断

炉墙结厚结瘤、炉缸堆积(中心或边沿)、管道(中心或边沿)和悬料是4种最主要的炉况故障。每一种故障的判断都涉及多项参数的判断与推理,因此,为进行智能化判断需要建立智能判断推理模型。图6-17是每3min扫描一次的“炉况故障诊断表”。一旦出现4种故障中的某一种征兆,该画面即自动显示在工长会话优化机上。工长通过“异常炉况发生概率”即可一目了然把握故障前兆的严重程度。通过“影响参数表”中的“上升”、“下降”、“剧升”、“剧降”等智能化提示,便可知是哪些参数出问题了以及问题的严重程度。

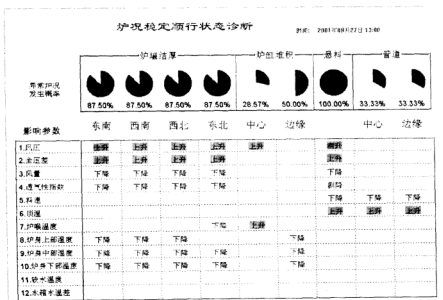


图6-17 炉况故障征兆诊断表

#### 6.3.4.4 智能化软件仪表

所谓智能化软件仪表就是利用计算机软件功能,把工长作业中主要关心的各类参数通过数学模型规范化变换集中在一起,组合成集中监控图表,由计算机自动进行数据正常与否的判断,提供给工长考察使用。这样的功能组合图表是硬件仪表无法实现的。



已开发的智能化软件仪表包括:喷煤速率状态图;炉体温度场轴向图和径向图;炉底侵蚀时间序列图;冷却壁工作状态展开图;高炉操作线图(RIST 操作线)、十字测温综合图和 70 多幅时间序列图、50 多幅统计对比图等。

#### 6.3.4.5 工艺参数系统优化

按照炼铁目标“优质、低耗、高产、长寿”建立的多目标优化数学模型,通过生产实际数据验证,说明在不同高炉炉况条件下,确实存在不同的炉温控制优化决策。为了从实际生产数据深入总结优化控制规律,“智能控制专家系统”开发了冶炼强度优化、产量质量优化、配料优化控制和冶炼参数系统优化 4 个优化子模块。

##### A 冶炼强度优化模型

炼铁教科书曾定性说明高炉的焦比与冶炼强度的关系曲线是一条“锅底曲线”。冶炼强度过高或过低,焦比都升高,只有在合适的范围即“锅底”部位焦比最低。冶强优化模块就是计算出这条“锅底曲线”,定量确定冶炼强度最佳范围的数学模型。它包括“变频统计”计算模型和“等步长”计算模型两种模型,可以相互验证。由图 6-18 与图 6-19 可选择到利用系数高-焦比低的最佳冶强范围。

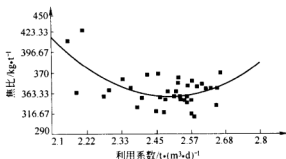


图 6-18 焦比与利用系数关系图

##### B 产量-质量优化模型

同样,炉温[Si]与炉渣碱度(R)的控制也存在着最优组合控制。这一组双因素,既影响着高炉利用系数  $U_t$ (产量),也影响着铁水质量[S]。当追求提高利用系数时,铁水[S]可能升高,质量下降。产量-质量的多目标优化模型就是求解利用系数高而铁水[S]满足炼钢质量要求的炉温[Si]-炉渣碱度(R)的最优控制范围。图略。

##### C 配料计算与变料优化模型

根据炼铁工艺的物料平衡计算公式,可以建立计算高炉冶炼过程配料碱度  $LZR$  与炉渣碱度(R)的相关关系规律的数学模型。这样,我们就可以根据化验室通过“专家系统”网络传递来的炉温、渣碱度、原燃料成分的变动信息,建立起自动追踪生产进程的优化配料数学模型,为炉温[Si]-渣碱度(R)的预测控制和平稳发

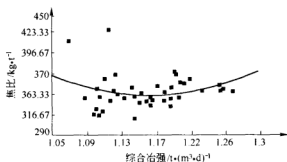


图 6-19 焦比与综合冶强关系图

展创造基础条件。

#### D 工艺参数系统优化模型

此外,其他众多的工艺参数,如送风制度的风量、风温、鼓风动能、透气性;原燃料条件中的烧结矿品位、碱度、 $\text{FeO}$ ;焦炭的  $M_{40}$ 、 $M_{10}$  等对冶炼指标影响的显著性及其规律,是通过样本空间模型的“系统优化分析表”和“系统优化分析图”来计算和分析的。众多参数对利用系数、焦比、冶强、炉温影响的聚类规律分析,也就是所谓的数据库挖掘技术。

#### 6.3.4.6 炉温预测智能控制

炉温的预测智能控制包含以下 3 个进程:

##### A 对炉温预测智能控制前提的判断

对高炉设备与炉况正常工作状态的判断,是实施炉温预测智能控制模型的前提。

##### B 炉温预报数学模型计算

“智能控制专家系统”在分析各种预测模型(回归模型、最小二乘模型、神经网络模型、时间序列模型)功能利弊的基础上,构造了简便适用的“时间序列混合模型”作为炉温预测智能控制的数学模型。即把炉温预测分为 3 个层次:平稳序列预测;状态变动和控制变动对炉温影响的预测。它考虑的影响因素包括:炉温  $[\text{Si}]$  自身的发展规律;有关热状态平衡与物料平衡的参数组;有关送风、喷煤及料速变化的参数组;其他参数组(煤气利用率、铁水温度等)。同时也考虑时滞变动影响的计算。

##### C 炉温预测智能控制的自动化流程

由于工艺过程信息传递的网络化,“专家系统”数据库按照工艺时序不断获得新信息,其中由化验室录入的信息包括:每班 3 次的烧结矿成分,每天 1 次的球团矿成分,每天 1~2 次的焦炭成分,每周 1 次的煤粉成分,每炉 1 次的铁水与炉渣成

分及铁水温度。而每小时自动采集的与炉温预报有关的参数包括:料批与料速,送风与喷煤,炉顶十字测温与煤气等。这些参数的到达激活炉温预测模型自动进行运算。当预测状态与优化状态有显著偏离时,计算机将按照优化模型计算出是否变料或改变喷煤速率,提示供工长决策使用。

#### 6.3.4.7 管理统计报表模块

工长 8 小时作业的许多时间用于填写《高炉作业日志》,计算汇总《整理记录》和《统计台账》等。在“专家系统”中,这些报表全部由软件自动生成。包括:高炉作业日志分解表 6 张,整理记录表 7 张和统计台账 3 张。另外,根据技术分析与管理需要还开发了 60 项参数的日统计表、月统计表、年统计表用于任意时间段的技术统计;用于备件管理的“风口渣口更换表”和财务分析的“成本分析表”等。报表自动生成就是工长作业管理的“办公自动化”。

#### 6.3.5 网络版“智能控制专家系统”的应用效益

在“智能控制专家系统”投入生产运行 3 个月后,对 1 号高炉的工艺参数进行了全面优化,提出了《莱钢 1 号 750m<sup>3</sup> 高炉工艺参数的优化分析与生产优化建议》,总结降低焦比的优化规律。图 6-18、图 6-19 是样本空间模型下的入炉焦比与利用系数、入炉焦比与综合冶强之间的非线性关系规律分析。这是在喷煤比达到 160kg/t 条件下的规律。图 6-18 曲线说明随着利用系数  $Ut$  的提高焦比下降,当  $Ut = 2.55$  左右时,焦比达到最低点。如果继续追求提高利用系数,焦比就要增加。在图 6-19 的“锅底曲线”中,综合冶强  $ZI = 1.17$  左右时,入炉焦比的最低点是  $K = 325\text{kg/t}$  左右。与非优化状态相比,只要把冶炼强度控制在最佳范围内,那么就能够降低焦比 10kg/t 以上。

通过总结利用系数  $Ut$ 、 $[S]$  与炉温  $[Si]$ -渣碱度  $(R)$  的关系规律,重新确定了  $[Si]$ -( $R$ ) 的最佳控制范围,为使利用系数从原来平均 2.45 提高到 2.55 明确了优化方向。

“专家系统”的应用不仅大大减轻了高炉工长的智力劳动强度,提高了工作效率,更重要的是工长应用炉况诊断功能、炉温预测控制功能推进了炉况的稳定顺行和炉温的平稳控制。炉温  $[Si]$  数值预报的命中率与成功率分别达到 80% 和 88% 以上。

网络版“专家系统”也提高了技术分析与管理统计部门的工作效率。在“专家系统”中,一个 4 项参数的不同月份之间的统计对比分析,只要设定对比时间范围,几秒钟即可得到对比结果。而如果按原来的手工步骤进行,则需要一周时间才能够完成。

实践证明,随着工长应用专家系统水平的提高和熟练,高炉的潜力将得到进一步挖掘。计算机信息化管理优越性的发挥和管理制度的改革,必然取消《高炉作业日志》。

表 6-4 是莱钢 1 号高炉应用“智能控制专家系统”,贯彻优化大纲后各月生产主要指标统计表。从中可以看到“专家系统”应用的效益正在逐步体现出来。

表 6-4 莱钢 1 号高炉 2001 年 7~11 月生产参数统计对比表

No.	项目名称	7 月	8 月	9 月	3 季度	10 月	11.1~11.17
1	产铁量/t	56844.95	57142.84	55055.0	169042.79	59662.38	33473.72
2	利用系数/ $t \cdot (m^3 \cdot d)^{-1}$	2.445	2.458	2.447	2.477	2.566	2.625
3	入炉焦比/ $kg \cdot t^{-1}$	335.07	336.13	351.59	340.83	336.0	321.65
4	煤比/ $kg \cdot t^{-1}$	159.26	157.05	138.14	151.64	158.46	153.20
5	折综焦比/ $kg \cdot t^{-1}$	471.56	470.77	469.96	470.8	471.85	452.91
6	综合冶强/ $t \cdot (m^3 \cdot d)^{-1}$	1.153	1.157	1.150	1.166	1.211	1.189
7	合格率/%	100	100	100	100	100	100
8	[Si]均值/%	0.45	0.471	0.439	0.454	0.434	0.499
9	[S]均值/%	0.024	0.023	0.023	0.023	0.025	0.026
10	入炉矿品位/%	59.21	59.36	59.01	59.19	59.45	59.68
11	熟料比/%	100	96.28	93.95	96.80	89.78	87.02
12	风温/ $^{\circ}C$	916	917	922	918	916	915
13	渣碱度(R)	1.13	1.14	1.14	1.14	1.16	1.20
14	三元碱度	1.16	1.17	1.17	1.17	1.19	1.23

### 6.3.6 高炉冶炼过程智能控制自动化发展前景

计算机技术的发展与基础自动化的完善,使高炉主控室可用计算机取代众多的高炉仪表,实现冶炼过程信息的集中监控。工长不必再逐一地检查高炉仪表的工作状态,思考仪表数据变化,他可以在计算机屏幕上——调阅所关心的检测数据,从中得到炉况状态的判断。显然,计算机应用于冶炼过程参数的集中监控提高了工长的工作效率,减轻了体力劳动工作量。

但是,这毕竟是计算机应用的初级阶段。因为计算机功能的本质是人的智力的延伸。计算机可以在更深刻的层次帮助工长完成复杂的工艺计算和炉况的综合判断等脑力劳动范畴的任务。因此,随着计算机网络技术和信息技术的发展,在基础自动化比较完备的条件下,实现高炉工艺过程全部信息与数据的联网,深入开发“高炉专家系统”作为高炉值班工长离不开的生产工具,在高炉主控室应用“专家系统”已经成为炼铁技术进步的新趋势。

国内特大型钢铁联合企业的大型高炉引进国外先进的“高炉专家系统”促进了国产“高炉专家系统”的开发和应用。作者通过 20 年来对国内十多座高炉的工艺优化探索和推广“高炉炼铁优化专家系统”的实践深深体会到:高炉在应用“专家系统”中存在着系统优化决策问题。这正是国产“高炉专家系统”深入挖掘高炉生产

潜力、改善高炉技术经济指标的关键所在。通过9年来高校与钢铁企业密切合作,不断深化冶炼过程数学模型的开发,推进软件版本的升级换代,从炼铁技术与多学科交叉的高度,结合具体高炉的装备水平和生产实际,以信息化带动炼铁技术进步,闯出了通过工艺参数系统优化挖掘高炉生产潜力,提高经济效益的新路。

同时,通过“专家系统”的应用实践,对高炉过程自动化这一跨世纪的技术难题的解决有了更深入的思考和认识。实践证明:高炉自动化技术的关键难点不在于基础自动,也不在于信息网络化,关键难点是高炉冶炼过程的智能控制自动化。经典控制论、现代控制论和智能控制论这三个层次自动控制技术与理论的发展历史表明,高炉冶炼过程的控制是智能控制是多目标的运筹控制。高炉过程的自动化控制必将随着炼铁技术与数学模型技术、计算机技术、信息技术、自动控制技术多学科交叉,有机结合取得新的研究成果而实现。

高炉冶炼过程自动化的实质是工长智力劳动过程的自动化。从350m<sup>3</sup>高炉到380m<sup>3</sup>高炉再到750m<sup>3</sup>高炉上应用“智能控制专家系统”的一次次实践,为这一目标的实现积累着成功的经验和新的理论概括。

在这个经验与理论概括中,我们看到:

(1) 从750m<sup>3</sup>高炉到1650m<sup>3</sup>高炉(太钢)、2580m<sup>3</sup>高炉(鞍钢)、3200m<sup>3</sup>高炉(武钢)、4503m<sup>3</sup>高炉(宝钢),随着高炉容积的增大,高炉检测点的增加,“专家系统”对于炉况判断与设备诊断所需进行的判断与推理在数量与逻辑上的复杂度大大增加。其技术难度仅在于庞大的数据库中,在线数据处理所得到的判断推理对工长进行高炉过程实时控制指导的有效性 with 可靠性。但是,在炼铁工艺的控制复杂度上并没有增加,高炉过程系统优化规律及其优化控制的数学模型复杂性没有增加。并且在某种意义上,由于大高炉的基础自动化检测条件和原燃料条件均优于中小高炉,炉况控制的平稳性较之中小高炉具有更高的稳定性和可预见性,更能够通过数学模型实现平稳预测控制。因此,已经开发成功的“智能控制专家系统”是完全能够扩展并推广应用到大高炉上去。

(2) 大型高炉的智能控制自动化系统的计算机网络结构设计方案如图6-20所示。“专家系统”的层次依然是包括:1)现场操作层;2)数据分析层;3)领导决策层;4)系统维护层;5)远程维护层。它们构成了“专家系统”在操作控制—技术分析—管理决策上的“三位一体”应用。此处技术分析功能由数据分析层完成,管理优化决策由领导决策层完成,他们完成“专家系统”中自学习、自适应预测控制的技术分析与管理决策,从而使工长在现场操作层中实现“专家系统”在智能自动化上的应用。

(3) 当前钢铁冶金企业大力推进着信息化改造工程。一般企业管理信息系统(MIS)所包含的L1层(基础自动化层)、L2层(生产管理)和L3层(管理决策层)的建设都为高炉过程自动化所需要的信息网络化打下坚实的基础。因此,“高炉专

2580m<sup>3</sup> 大型高炉智能控制自动化“专家系统”  
与铁区局域网拓扑示意图

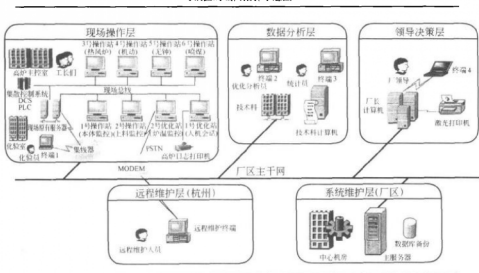


图 6-20 大型高炉智能控制自动化系统设计方案

家系统”的开发应用应当在此基础上向着炼铁过程的智能控制自动化的目标积累逐步推进的成功经验和多目标优化决策的数学模型。从优化配料的局部智能自动化到喷煤、送风、布料等多工序、多参数综合智能控制自动化。从而达到高炉冶炼过程始终是在“专家级”的值班工长的智能自动化控制之中。其自学习控制功能、自适应控制功能、动态预测控制功能以及多目标优化控制决策都不是一般工长技术水平所能够达到。

综上所述可知,高炉冶炼过程的智能控制自动化不是传统意义上的自动化控制的叠加与合成,而是由基础自动化、信息化与控制决策自动化三个不同层次构成的智能自动化。目前的“高炉专家系统”只是初级阶段的智能控制自动化。



# 下篇

YINGYONGPIAN

# 应用篇





## 1 系统概述与数据录入

### 1.1 引言

在高炉主控室,2台【优化机】和高炉数据采集系统(DCS或PLC以及3台监控站)组成了“智能控制专家系统”的主控室计算机局域网。同时,在炼铁厂调度室设置数据库服务器,通过它把高炉主控室的局域网和各数据采集点,各控制工序终端、化验室终端、过磅站终端以及厂部有关办公室的终端联网,组成炼铁厂的计算机局域网。这就是750m<sup>3</sup>高炉网络版“智能控制专家系统”的计算机硬件平台。

在网络版“智能控制专家系统”的应用中,各岗位人员在自己的计算机终端上运用“专家系统”的不同功能完成各自的工作任务。通过网络的信息传送,实现了炼铁过程的数据资源共享,实现了“专家系统”在操作-技术-管理上的“三位一体”应用。厂长可以在办公室实时检查高炉工长的作业情况,技术科工程师可以在办公室对高炉生产数据进行在线优化分析,而工长则在高炉主控室运用“专家系统”实现冶炼过程的智能控制。

在高炉主控室,“智能控制专家系统”软件包(简称“专家系统”)运行在2台【优化机】上。高炉工长通过【优化机】进行人机会话,调用专家系统的各个功能模块,来实现高炉冶炼过程的优化与智能控制。【优化机】作为高炉工长作业的得力工具,通过计算机高新技术与传统炼铁工艺技术的有机结合,达到改善高炉技术经济指标的目的。

本篇既是高炉工长的《使用说明书》,也是炼铁工程师和管理人员的《使用说明书》,因此主要考虑炼铁专业人员使用计算机的需要。它详细介绍了“智能控制专家系统”的各项功能及其操作使用方法,同时,也结合炼铁工艺简要说明软件模块的数学模型原理。考虑到炼铁人员跨专业掌握计算机系统的操作使用中可能遇到的困难,因此本书在计算机操作方面进行比较详细的阐述,以期高炉工长能够尽快熟悉“专家系统”,在生产中发挥其作用。

启动【优化机】,系统首先进入Windows 2000的初始界面,然后自动启动“智能控制专家系统”,进入【登录】画面。用户通过登录对话框输入【登录名】和【密码】,即可进入“智能控制专家系统”。图1-1为专家系统的初始界面。

初始界面上方有菜单栏与工具栏。菜单栏包括:【系统】、【管理】、【视图】与【登录】4方面内容。工具栏包括:【数据库】、【优化】、【炉况】、【报表】4大软件模块和

【登录】、【导航】、【关于】3个功能钮。通过单击这些功能钮就可以逐层展开“智能控制专家系统”的各项功能。本章简明地综述这些功能钮的用途与操作使用。此外,计算机网络系统与炉温的智能控制模块将在单独的章节中说明。



图 1-1 “智能控制专家系统”初始界面

在本书中为了区别软件系统的专用功能钮、特定名称与一般论述用词的区别,我们把专用功能钮与特定名称用符号【】框起,以便于说明操作步骤。操作者只要按框【】中名称,单击相应的功能钮或在相应位置操作,就能够一步步完成人机互动,正确完成操作。

## 1.2 系统概述

### 1.2.1 【系统】钮的功能子菜单

单击【系统】钮展开的子菜单包括【用户登录】、【屏幕加锁】、【系统刷新】、【数据加速】和【退出】等5项功能。

#### 1.2.1.1 【用户登录】

【用户登录】用于输入值班工长等人员的【登录名】和【密码】。不同登录名和密码对系统的使用有不同权限,规定了不同的操作功能。例如,工长可输入和修改当班的数据;一般人员则只能查阅数据而无权修改;炉长授权系统管理员才可以修改【参数设定】等。

#### 1.2.1.2 【屏幕加锁】

【屏幕加锁】用于保护优化机上的【炉温智能控制系统】处于实时监控状态,而不被随意退出。单击【屏幕加锁】后,屏幕出现对话框,说明“当前系统处于屏幕加锁状态,如需解锁,请输入密码”,并且在【用户名】一栏显示 ADMIN,此时需要在【密码】一栏输入正确密码,然后单击【屏幕解锁】,即可完成解锁工作。

#### 1.2.1.3 【系统刷新】

当某一阶段的优化数据发生变化或设定的参数修改后,“专家系统”的智能判断和各种图表显示都将随之发生变动。因此必须对该阶段的智能化数据重新计算。【系统刷新】功能钮就是为完成此项任务而设计的。其操作步骤是:单击【系统刷新】,屏幕出现人机对话框。选择所需刷新的时间范围,在【起始时间】与【终止时间】栏输入时间,然后单击【刷新数据】,即可等待计算机完成系统刷新工作。计算机完成数据刷新时,屏幕显示“系统数据已成功刷新”。然后单击【确定】钮,即完成系统刷新工作。

需要注意的是:在系统刷新计算中,如果终止时间与起始时间距离太长,则系统刷新要经过很长时间才能计算完。因此,在高炉控制室的【优化机】上进行数据刷新时,不可设置时间间隔太长,以免因计算时间太长,其间需要做其他工作,不得不半途而废。

#### 1.2.1.4 【数据加速】

【数据加速】用于数据库过时数据的“屏蔽”,即一个月以前的数据被屏蔽,以便在最新的数据进入数据库后,能够快速地查找到参与工艺计算。但是,在进行历史数据的对比分析时,我们又需要起用历史数据,这时就需要通过单击【数据加速】,解除数据屏蔽。

当系统处于数据加速状态时,该钮的前面打了【√】号。此时单击该钮,屏幕出现说明框如图 1-2,特别需要注意的是取消数据加速功能后“将影响数据录入过程的速度”。因此,在高炉主控室应用的“专家系统”在一般情况下应当保持在【数据加速】的状态。

#### 1.2.1.5 【退出】

【退出】用于系统退出并关机。在停电等突然事故发生,需要紧急关闭专家系统时,单击菜单栏的【系统】钮,再单击下拉菜单中的【退出】,就可快速退出系统并关机。从而保护系统不被破坏。也可以直接单击屏幕右上角的【×】钮关闭程序。

### 1.2.2 【管理】钮功能展开

【管理】钮的子菜单包括:【用户管理】、【数据管理】、【参数设定】和【时钟同步】。

#### 1.2.2.1 【用户管理】

单击该钮,则屏幕显示【用户管理表】,包括【用户名称】与【所属类别】。在表的下方有 5 个功能钮:【添加用户】、【删除用户】、【修改密码】、【帮助>>】及【退出】。

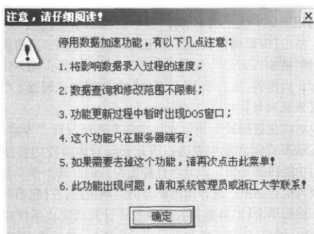


图 1-2 数据加速说明框

单击【添加用户】，则屏幕显示添加新用户对话框。按照要求输入：用户名、密码、确认密码和所属级别等信息，并单击【确认】钮，即可完成添加新用户的工作。

在【用户管理表】界面上单击某一用户名，然后单击【删除用户】，则可以删除该用户。而单击某一用户名后再单击【修改密码】钮，即可进入修改界面对话框进行修改。

单击【帮助>>】钮，得到关于用户所属级别的使用权限说明，5 个不同级别权限如下：

系统管理员级：具有使用“专家系统”的所有权限。

高炉工长级：具有对所有数据表的输入、修改、删除、查询、打印报表的权限，但对月成本分析/明细表没有输入的权限。

技术科与工艺员级：具有进行划分样本操作，即对表 TAB\_ANALYSE\_AVG 有添加、删除的权限，可打印报表，但是没有对数据表的输入、修改、删除权限。

成本分析员级：只对月成本分析/明细表 TAB\_CBFX 具有输入的权限。

一般人员级：GUEST 权限，即只有浏览、查询、打印报表等权限。

#### 1.2.2.2 【数据管理】

【数据管理】功能包括【数据备份】与【数据恢复】两个子菜单。这是由于 SQL Sever 数据库在备份过程中需要进行数据压缩，拷贝到其他计算机上后要解压，因此为方便进行这两方面的工作，特别设置了这两个功能钮。数据拷贝与恢复过程设置了人机会话框，只要按照提示进行操作，就能够顺利完成从优化机到其他计算机的数据拷贝工作。

#### 1.2.2.3 【参数设定】

【参数设定】钮用于系统参数的设定。系统参数包括：生铁级别、生铁牌号、原

料名称、利用系数、装料制度、风口类型、大事类型、故障类型、故障处理、调剂类型、变更原因等 11 种参数。这些系统参数实际上是与数据库及系统优化模型相配套的【专家知识】。

系统参数设定的管理权限属于炉长,炉长可授权系统管理员修改【参数设定】。其他人员不可随意更改系统参数的设定范围。

系统参数设定的对话框如图 1-3 所示。对话框上方 2 行菜单列出 11 种参数选择。每一种参数的设定都有自己的对话框。各界面都包括【添加】与【修改】功能钮。因此可以根据高炉不同时期、不同状态修改系统参数设定,从而使专家系统的优化分析工作能够顺利进行,得到不同时期不同的优化操作结论。

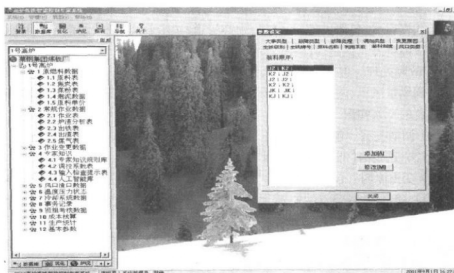


图 1-3 系统参数的设定界面之一(装料顺序设定界面)

各项参数设定的内容说明如下:

(1) 生铁级别。按照铁水硫含量分为特级、一级、二级、三级和不合格 5 档。需要输入各级别硫含量的上限。此项设定按照国家标准进行,不会随意变动。

(2) 生铁牌号。按照铁水硅含量分为 L04、L08、L10、L14、L18、L22、L26 等 7 档。需要输入各牌号硅含量的上限。此项设定也是按照国家标准进行。

(3) 原料名称。有烧结、球团、生矿、进口矿、石灰石、萤石等名称,可以修改,也可以根据用户的需要添加新的原料名,但是需要分清生料与熟料。该组数据要参与配料计算,计算熟料比。

(4) 利用系数。这是根据样本空间模型的优化分析需要,把高炉利用系数分为 A、B、C、D、E、F、G、H、I、J 等 10 个级别,每一级的利用系数范围可以设定。利用

系数参数的设定直接影响到优化图的聚类分布。输入时要指明变更时间和各等级利用系数的下限。

(5) 装料制度。这是与【上料布料表】配合的【装料制度表】。有几十种可供选择的装料制度,把各种预置的装料制度设定在此,供上料布料表使用。

(6) 风口类型。包括直风口、斜风口、长风口等不同类型、不同长度、不同直径的选择,这是作为【风口更换表】配套使用的知识库。使用不同的风口将导致风口总面积的改变和鼓风动能的变化。影响涉及多种数据表和优化图。

(7) 大事类型。包括计划检修、非计划检修、事故类大事和其他等大事类型,这是与【高炉大事记表】配套的知识库。

(8) 故障类型。包括悬料、坐料、塌料、偏料、管道、炉缸堆积、炉热、炉冷、工艺休风、工艺慢风、设备休风、设备慢风、中心管道、边沿管道、炉墙结瘤、顽固性结瘤等 16 种故障类型。这是与【故障记录表】配套的专家知识。

(9) 故障处理。包括工艺慢风、休风,设备慢风、休风,调负荷加焦炭、调碱度、调喷煤、调风量风压、调富氧、加萤石洗炉、改风口等 12 种处理方法,是与【故障记录表】配套的专家知识。

(10) 调剂类型。包括风量风压、顶压、风温、富氧、喷煤、休风、慢风、复风等 8 类调剂方法,这是与【调剂指令表】配套的专家知识。

(11) 变更原因。包括停风/电/水、计划检修、非计划检修、冷却水压低、换风渣口、亏料、跑大流、停氧、憋风、减风、慢风、重负荷下达、提[Si]、[Si]偏高等十余种,这是与【调剂指令表】配套的。

以上 11 类参数设定实际上是炼铁的“专家知识库”与“系统优化知识库”的设定。改变参数设定的范围,专家推理诊断、优化操作提示与系统优化的图形、结论都将发生变化。

#### 1.2.2.4 【时钟同步】

该按钮用于优化机的时钟参数的设定,以便保持优化机的时间数据与炼铁厂调度室的数据库服务器的时钟系统相一致,避免自动采集的数据因为时间尺度不同步而发生故障。

#### 1.2.3 【视图】

该按钮展开的子菜单主要有:【树状导航】与【选项】。

##### 1.2.3.1 【树状导航】

【树状导航】用于选择计算机画面是否显示功能提示菜单,同时也决定了屏幕画面是否为全屏显示图形。在树状导航下,约 1/5 屏幕显示功能菜单,4/5 屏幕显示图表。取消树状导航功能,则全屏显示图形。

##### 1.2.3.2 【选项】

在【视图】子菜单下单击【选项】,则屏幕显示选择背景图片的对话框。单击【背

景图片】右边的【>>】钮,屏幕显示诸多图片文件可供选择。点中其中一幅,依次单击【打开】和【确定】,则屏幕显示所选择的新的背景图片。

### 1.2.4 【登录】

【登录】用于在系统运行状态下,各个操作者按照自己的操作级别和使用权限来使用专家系统。在一般情况下,接班工长不必重新登录。本【登录】钮与【系统】子菜单中的【用户登录】钮完全一样,输入登录名和密码也是一样的。

### 1.2.5 【数据库】

单击【数据库】,系统显示数据库菜单。它包含 12 类 41 个【数据表】,如图 1-4。

单击各类数据图标前面的【+】号即可展开数据表菜单,而单击各类数据图标前面的【-】号,则各数据表菜单收拢。双击【1.1 原料表】~【12.2 用户登记表】中的任意一个数据表,等待 1~5s 即可进入该数据表。图 1-4 为出铁表的界面。数据库菜单下 41 个数据表的内容与操作将在第 2 章数据库与数据表中详细阐述。

出铁开始时间	出铁结束时间	炉号	出铁时炉内铁量	实际铁量	理论
2001-08-16 13:50	2001-08-16 14:20	25980	115	140	129.93
2001-08-16 15:40	2001-08-16 16:10	25981	110	120	98.69
2001-08-16 17:30	2001-08-16 18:10	25982	120	230	244.79
2001-08-16 19:10	2001-08-16 20:00	25983	110	80	74.43
2001-08-16 21:10	2001-08-16 21:45	25984	105	80	85.16
2001-08-16 23:00	2001-08-16 23:35	25985	130	140	152.83
2001-08-17 00:50	2001-08-17 01:25	25986	110	150	160.07
2001-08-17 02:50	2001-08-17 03:25	25987	120	170	153.59
2001-08-17 04:40	2001-08-17 05:15	25988	110	120	125.17

图 1-4 数据库菜单与出铁数据表

### 1.2.6 【优化】

单击【优化】钮,系统展开优化功能菜单,包括:炉温预报监控、配料布料、冶炼优化、优化决策、时间序列、统计对比等 6 大部分。双击各类功能钮,即可展开各项功能栏目,双击这些栏目,即可展开各项优化工作。系统优化模块是本专家系统具有自主知识产权的关键技术所在,也是专家系统挖掘高炉生产潜力的主要数据分析依据。



### 1.2.7 【炉况】

【炉况】钮用于高炉的炉况诊断。它包括【炉况状态星形图】、【炉况顺行判断图】、【炉墙结厚判断图】等。该模块需结合数据采集与分析,特别是结合曾经发生的炉况事故的典型案例,才能确定炉况推断参数的报警临界值及其组合。在确定智能推断的数据界限后,繁琐、细致的炉况诊断过程就可以由计算机来帮助工长把好关,及时对炉况异常数据变化进行预警。提醒工长注意,及时采取措施避免炉况恶化与事故的发生。

### 1.2.8 【报表】

该钮用于高炉日志、各种统计报表、月份汇总表的调阅、预览和打印。

在每一种报表下,都设置了所要查阅的时间输入栏,以及【预览】、【打印】和【关闭】的3种选择。回答【请选择报表日期】,输入时间后,一般先进行预览,此时屏幕上显示数据统计表。调整屏幕上方的【比例】钮为75%,屏幕就能够显示出整张报表情况。如果打印,则单击【打印机】图标,就可以在132宽行打印机上打印出所需的统计汇总表。如果只是观察统计结果,则看后单击左上角的退出图标【×】,就可以退回到报表选择界面。

### 1.2.9 【导航】钮

按下【导航】钮,则各个层次的功能清单都可一一单击展开。如果关掉【导航】钮,则这些功能清单全部隐去,屏幕界面扩大。因此,导航钮实际上是菜单显示钮。

## 1.3 数据录入的规则与注意事项

数据库是“智能控制专家系统”的基础。因为所有的炼铁工艺计算与优化分析都是建立在数据库基础上的。在数据库的原始数据中,除了由集散系统DCS或PLC自动采集的温度、压力、流量等数据外,尚有部分原始数据如计量数据、化验数据需要依靠手工录入。在网络版“智能控制专家系统”下,大量的化验数据已经由化验员在化验室终端录入,因而显著减轻了工长录入数据的工作量,但是仍有一部分数据需要工长录入。正确地录入数据是确保原始数据正确的基础。为此本节详细地说明数据录入的规则,针对容易出错的情况指出应注意的事项,以便帮助工长尽快地熟练使用“专家系统”。

### 1.3.1 确认录入数据的有效位置

在数据库的各种数据表中,录入数据时首先要把光标移动到将要输入数据的栏目位置上。闪动着的短粗竖线光标所在位置才是输入数据的确认位置。初学者必须注意:屏幕上其他形状的光标,如随鼠标移动的工字形光标或空心箭头光标所指的地方并非录入数据的确认位置。缺乏经验的初学者往往没有注意确认位置,只把工字形光标移到栏目位置就开始录入数据,结果数据录入到其他地方,造成无效和错误。正确的操作方法是:如果要在某一栏目下输入数据,必须先用鼠标器把

工字形光标移到该栏目位置上,然后单击左键,则短粗竖线光标就移到该栏目下。此时录入正确的数据才是你所需要的。

### 1.3.2 清除旧数据或部分修改旧数据

如果在数据表的某一栏目下已有旧数据,现在需要添入新数据或修改旧数据,那么可以用以下几种方法之一消去旧数据,添入新数据。

(1) 双击该栏目,旧数据即涂上蓝色,此时输入新数据即替代了旧数据。

(2) 如果只是部分修改旧数据,则用鼠标将工字形光标移至将要修改数字的左边(或右边),按住鼠标的左键,向右(或向左)刷至要修改数字的末端,即把要修改的数字都涂成蓝色,然后录入新数字,即可得到完整的新数据。

(3) 用【Delete】键和【Backspace】键删去旧数据。按【Delete】键一次,即删去光标右边的一个数字,按【Backspace】键一次,即删去光标左边的一个数字。这样或左删、或右删都可以把旧数据的所有数字删完,然后输入新的数据。

(4) 如果在数据栏目下只是一个0,那么在0后面输入有效数字,和先删去0再输入数据的效果是一样的。在输入小数数据时,例如输入0.66,那么可以直接输入为.66,其效果与输入0.66是一致的。

### 1.3.3 用鼠标或键盘移动光标时的特点

在数据输入中,时常要移动光标到确认的栏目下,或者输入好一个数据后发现其中某位数字有错,那么就要移动光标到相应位置上进行修改处理。

使用鼠标器移动光标时,用鼠标把工字形光标移到需要的位置,单击鼠标左键,在该位置上显示出短粗光标竖线,即完成了移动光标的操作。因此,用鼠标移动光标十分快速。

而使用键盘的光标移动键,即左移键【←】或右移键【→】,上移键【↑】或下移键【↓】移动光标时,前者每按键1次只移动1个字符位置,后者每按键1次只移动1行。因此,使用键盘移动光标的效率比较慢。

需要指出的是:光标移动键与【Delete】键和【Backspace】键用于移动光标的根本不同点在于:按一次【Delete】键,将删去光标右边的数字,而按一次【Backspace】键将删去光标左边的数字。而用左移键【←】或右移键【→】时,则只移动光标而不发生删除操作,并且可以在光标移动处插入新的数字。因此,熟练掌握、灵活机动地使用光标移动键和【Delete】键、【Backspace】键,在录入数据中能够提高数据录入的效率。

### 1.3.4 用【Tab】键从一个栏目向另一栏目快速移动光标

在一个栏目录入数据完成后,光标要移到另一栏目下录入数据,此时可以用鼠标器移动光标,也可以用键盘上的【Tab】键进行跳跃式移动。特别是在鼠标出现故障时,立即用键盘代替操作是十分必要的。

用键盘上的【Tab】键移动光标,每按一次,光标就会从数据表的一个栏目跳到

下一个栏目,从而依次输入数据。但是,如果【Tab】键按的次数过多,跳过了将要录入数据的栏目,那么就要用【Shift + Tab】组合键来使光标跳回到想要录入数据的位置。其操作方法是:按一次【Tab】键则光标向右跳到下一个栏目。如果需返回到上一个栏目,则先按下【Shift】键并保持,然后按下【Tab】键。每按一次则向左返回一个栏目位置。此操作在发现前面录入的数据有错需要修改时可以应用。

### 1.3.5 使用快捷数字键,提高数据录入效率

录入数据时,可用键盘上方的横排数字键。但更常用键盘右方的小键盘。输入数据时使用小键盘的快捷数字键,因其数字键位置集中,故单手输入方便,快捷。

需要注意的是:用键盘右方的快捷数字键时,首先要锁定【Num Lock】键。如果发现用快捷数字键无法输入数据,那么按一次【Num Lock】键,锁定指示灯亮,此时即可正常使用快捷数字键录入数据。

### 1.3.6 输入汉字信息的操作

在数据库中,有部分数据表是录入汉字信息的。例如【值班记录】、【高炉大事记】等数据表就是完全录入汉字。此时首先要选择汉字输入法。

如果用键盘选择,则先按【Ctrl + Space】键,调用【汉字输入法】,然后再按【Ctrl + Shift】键,挑选得到【智能拼音输入法】或【五笔字型输入法】等。输入法完全由个人兴趣和熟练程度自选。

如果用鼠标选择输入法,则移动鼠标空心箭头光标到屏幕右下角,左键单击汉字输入法图标,显示输入法菜单,从菜单上选择个人熟悉的一种输入法即可。

一般建议使用【智能拼音输入法】,易学易用,能够快速输入词组,提高汉字录入效率。

在输入汉字信息中,换行的操作规则是:在【值班记录】数据表画面下,如果输入一行汉字后想另起一行,那么需要按下双键位【Ctrl + Enter】,即可另起一行。在【车间文件】数据表界面下,处理方法是一样的。

## 1.4 数据表的通用功能钮

在【数据库】菜单下双击某一数据表,则进入该数据表的界面。此时可以看到数据表上方的工具栏通常有8个功能钮,即【添加】、【修改】、【删除】、【查询】、【最前】、【最后】、【上一条】、【下一条】钮,如图1-5所示。各个按钮的功能及其操作步骤说明如下。

### 1.4.1 【添加】钮

本系统的各个数据表不仅包含录入的数据,同时包含由原始数据计算得到的对工艺分析有价值的计算结果。为了使数据录入清晰、方便,在各数据表下设置了专门的【添加表】。单击【添加】钮,数据表画面显示【添加表】,按照表中栏目输入对应数据,完成录入工作。

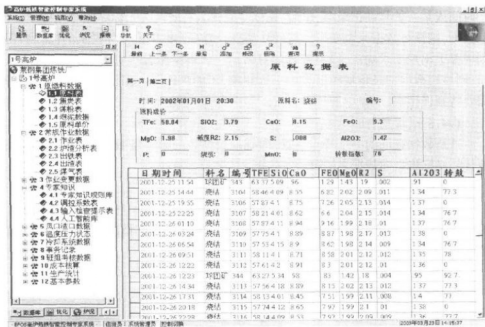


图 1-5 数据表的通用功能

注意:对每一个数据表,需要录入数据时都必须先按下【添加】按钮,才能进行数据的录入。不按【添加】按钮不能在数据表上直接录入数据。

需要说明的特殊情况是:由于出铁表录入数据后,系统会自动在炉渣分析表添加相应的炉号与出铁时间,因此,在炉渣分析表录入化验数据时就应该按【修改】按钮,在【修改表】下输入新数据。

#### 1.4.2 【修改】按钮

当数据表已经录入一些数据,现在需要补充录入新数据时,补充新数据的操作就必须单击【修改】按钮,在【修改表】下进行。如果使用【添加】按钮,则会出错。

#### 1.4.3 【查询】按钮

在既有按时间查询又有按炉号查询的数据表,按下【查询】按钮,屏幕上会显示一个查询方式对话框,要求操作者选择是按照时间还是按照炉号进行数据表的查询。单击【查询方式】,确定是时间查询或炉号查询后,输入所要查询的时间或炉号,单击【确定】按钮,计算机即进行查询,等待数秒钟,计算机完成查询弹出提示框:【查询成功】或【查询失败】。如果查询成功,再一次单击【确定】按钮,即可得到所要查阅的数据表。

#### 1.4.4 【删除】按钮

当发现数据表中某一条的数据错误太多,希望把它删除时,操作步骤是:

首先,移动鼠标用空心箭头光标在屏幕下方的【一览表】上找出需要删除的某一时间或某一炉号的记录,定位后,光标变成实心右向箭头光标。此时左键单击该行数据,则该行数据完全变黑。然后移动空心箭头光标单击工具栏上的【删除】钮,则屏幕上出现要求确认,提出警告的对话框。如果操作者在对话框上单击【确认】钮,则该栏数据记录将从数据表中永远删除,不能再恢复。因此,删除记录的操作需要特别谨慎。

#### 1.4.5 【最前】钮

这是数据查询的一个特殊位置,即查询数据表的第一条数据。因此,单击【最前】钮,光标将指向数据表的第一条数据。

#### 1.4.6 【最后】钮

这是数据查询的又一特殊位置,即查询数据表的最后一条数据。单击【最后】钮,光标将快速地指向数据表的最后一条数据。在实时采集情况下,这也是当前最新数据。

#### 1.4.7 【上一条】

单击此钮,光标将从当前数据记录位置移到上一条数据位置。如果光标已经处在最前一条数据位置上,则【上一条】钮自动呈灰色,不能操作,即没有上一条数据。

#### 1.4.8 【下一条】

单击此钮,光标将从当前数据记录位置移到下一条数据位置上。如果光标已经处在最后一条数据位置上,则【下一条】钮自动呈灰色,不能操作,即没有下一条数据。

除了上述8项通用功能钮,在不同数据表中,我们根据数据表的功能需要,有时增加了新的功能钮,如图1-5中的【提示】钮。点击【提示】钮,将显示数据表的人工智能提示图表。而有的数据表因为是自动采集的,不允许删除和人为修改,工具栏上这8个通用功能钮将有所变动,如将【删除】钮改为【补充】钮等。除了本节介绍8项功能钮的一般使用规则外,各个数据表的特定功能钮的使用,我们将在本书下篇第2章数据库与数据表中详细介绍其内容和操作步骤。

### 1.5 录入数据的工艺顺序与注意事项

在线的炼铁工艺计算是与数据来源的顺序密切联系的。例如,每炉铁水的理论出铁量计算与原料的化学成分录入顺序密切相关。同样,在“智能控制专家系统”的数据库计算中,各数据表的数据之间有着密切关联和先后顺序关系,必须按照正确的顺序完成各数据表数据的录入,工艺计算的结果才能符合实际。

#### 1.5.1 数据表输入数据的先后顺序

由于【出铁表】在录入数据的同时还进行工艺参数计算,因此它与某些数据表

之间存在密切关联。这些数据表是:【原料数据表】、【焦炭数据表】、【上料布料表】、【作业表】和【炉渣分析表】。这几张表的数据录入必须严格按照以下顺序进行。

(1) 首先应在【原料表】下按照报样时间及时录入不同矿种的化验成分。这是因为【出铁表】中的理论铁量将按照最新录入的相应矿种的铁品位  $TFe$  进行计算。

特别注意:在【原料表】输入矿石化验数据时,铁品位  $TFe$ 、 $(SiO_2)$  与  $(CaO)$  3 项数据均不可为 0。否则,在【出铁表】中计算焦比将发生分母为 0 而溢出,以至【出铁表】出错无法录入数据。

(2) 如果变料,则必须及时在【变料表】录入变料的新数据。不然计算机将按照原来的料批数据计算理论铁量、理论渣碱度、焦比等数据,那样必然与实际发生偏差。

(3) 在【作业表】中每小时及时录入小时料批数。因为没有小时料批数就无法计算各炉铁水的理论铁量。

(4) 在【出铁表】按照炉号顺序及时录入估计铁量、铁水化验成分等数据。【出铁表】一旦录入数据就会按照【作业表】、【变料表】、【原料表】已有的数据进行各种工艺计算,包括理论出铁量、炉温预报等。

(5) 最后录入【炉渣分析表】的数据。这是因为【炉渣分析表】的炉号是跟随【出铁表】确定的。没有相应的炉号则无法录入炉渣分析数据。

其他数据表的数据,包括【值班记录】的汉字输入,因不影响数据表之间的数据计算,可在任意时间完成录入。

### 1.5.2 输入、修改数据的前提条件

进行数据的输入与修改时,首先必须单击数据表上方的【添加】钮或【修改】钮。这时屏幕上将显示【添加】或【修改】的对话框,在对话框界面上才能正确地进行输入与修改数据的工作。不在对话框上进行的数据输入或修改,都是无效的。

### 1.5.3 关于录入数据【可能出错】的智能化判断

为保障工长手工录入的关键数据不发生原则性错误,本“专家系统”提供了自动判别正在输入的数据是否【可能出错】的功能。数据录入时,计算机同步判别该数据是否出错。如果数据异常,计算机自动提示已录入的数据【可能出错】。例如:在【出铁表】的添加表中录入[S]的数据超出 0.1,那么屏幕上立即出现提示“! 出铁[S]输入值不在有效范围 0.01~0.07 之内”,要求工长确认。如果工长确认不是由于人为差错造成的数据异常,必须在提示框上用鼠标单击【确定】钮,完成提示框的问答。如果数据录入出错,则单击【取消】键。这样,提示框消失了,才能够继续录入下一栏目数据。如果不单击提示框上的【确定】或【取消】钮,就无法进行下一步录入工作。

## 2 数据库与数据表

数据库与数据表是“智能控制专家系统”的数据基础。本章介绍 12 类数据库共 41 个数据表。这些数据表既包含自动采集的、手工录入的原始数据,也包括由炼铁工艺计算公式计算生成的工艺数据。既包括工艺操作方面的技术数据,也包括生产作业统计汇总中的各种技术经济指标的管理数据。特别是本章还包括了【专家知识库】的专家数据,即由炼铁专家知识确定的一批重要参数,由生产经验积累和系统优化总结的这些重要参数的优化范围。因此,本章的数据库与数据表是“智能控制专家系统”的“八宝箱”。对它既输入各种数据与信息,同时也从中得到更多的对生产操作有指导价值和参考价值的信息。

本章详细介绍各个数据库、数据表的内容、操作步骤和使用功能等方面的知识。

### 2.1 原燃料数据

单击【数据库】,进入数据库菜单。再单击【1 原燃料数据】前的【+】号,即可展开原燃料数据库菜单,它包括:原料表、焦炭表、煤粉表、炮泥成分表和单价表 5 种数据表。

#### 2.1.1 原料表

在【1 原燃料数据】菜单下双击【1.1 原料表】,屏幕即显示原料数据表。原料数据表的工具栏上有 9 个功能钮。其中 8 个通用功能钮的使用已在第 1 章中介绍。单击【添加】钮,即进入原料数据表的【添加原料记录】对话框,如图 2-1。

录入数据时应注意【原料名】的选择。初学者容易出错的是忽略了选择【原料名】,结果要输入的是球团矿成分,却成了烧结矿的成分。高炉日志上的矿石名称一栏,在原料数据表中即为选择【原料名】。单击【原料名】的下拉条,即可看到各种原料名可供选择。单击所需的原料名,该栏目变成黑色即为选定。各种原料的化学成分按照对应的栏目录入。原来高炉日志上的原料碱度  $R_2 = \text{CaO}/\text{SiO}_2$  一栏不必录入,因为成分数据录入完成后,单击【确认】钮,计算机就会自动计算出  $R_2$  结果,并且显示在原料表的界面上。

原料数据表共有 2 页,第一页是原料的主要成分,第二页是其他成分和物理参数,如转鼓指数、粒度等。每页上半部为当前参数值,下半部为数据一览表。

单击工具栏上的【提示】钮,在原料数据表画面上会出现一个优化操作提示单。

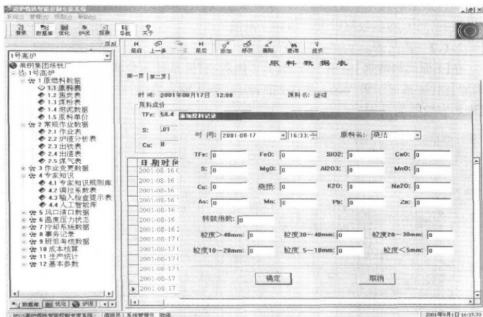


图 2-1 原料数据表及其数据录入界面

计算机自动对当前烧结矿的铁品位、二元碱度、FeO 和 CaO 这 4 项参数进行判断, 显示其近期的优化范围、状态特性、波动特性和近 3 炉状态图。如图 2-2 所示, 以此帮助工长快速判断原料参数是否发生了显著性差异。

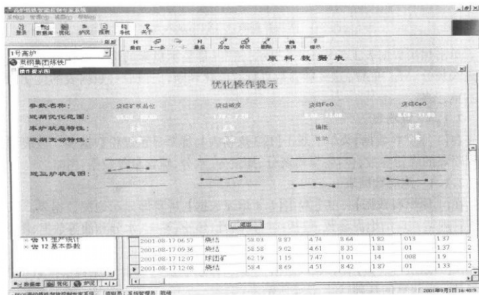


图 2-2 原料数据表的优化操作提示



原料数据表优化的4项参数判断标准是在【专家知识库】的【专家知识规则表】中设定的,每一项参数均设上限值和下限值。

### 2.1.2 焦炭表

在【1 原燃料数据】菜单下双击【1.2 焦炭表】屏幕显示焦炭数据表画面。单击【添加】钮,屏幕显示数据录入界面如图2-3。依次输入数据,并单击【确定】钮,则完成焦炭表数据的录入。

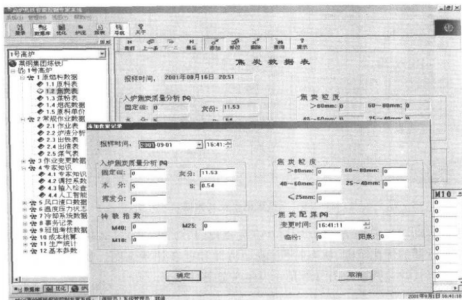


图 2-3 焦炭数据表及其数据录入界面

单击焦炭数据表工具栏上的【提示】钮,屏幕显示焦炭的优化操作提示单。它对焦炭灰分、 $M_{40}$  和  $M_{10}$  这3项参数进行智能化判断,类似原料数据表的优化操作提示单,图略。

### 2.1.3 煤粉表

在【1 原燃料数据】菜单下双击【1.3 煤粉表】,屏幕显示煤粉数据表。该表用于管理喷煤的煤粉参数,包括:煤粉灰分、挥发分、水分、硫含量等数据,图略。

### 2.1.4 炮泥数据表

在【1 原燃料数据】菜单下双击【1.4 炮泥数据】,屏幕即显示炮泥数据表。该表用于管理堵铁口的炮泥参数,包括:炉号、沥青、焦粉、黏土、水分和油等数据,图略。

### 2.1.5 单价表

在【1 原燃料数据】菜单下双击【1.5 原料单价】,屏幕即显示原料单价数据表。该表是成本核算的基础,如图2-4所示。

原料单价数据是为成本核算表配套的数据。在成本核算表中,各种原燃料消

金广软件有限公司

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

主数据管理 数据维护 数据维护

图 2-4 原料单价数据表

耗数量来自生产统计库,而单价则来自本表,从而可以自动计算日成本核算和月成本核算。

## 2.2 常规作业数据

在数据库菜单下单击【2 常规作业数据】前的【+】号展开数据表菜单,包括:【2.1 作业表】、【2.2 出铁表】、【2.3 炉渣分析表】、【2.4 出渣表】和【2.5 煤气表】共 5 种数据表。

### 2.2.1 作业表

在【2 常规作业数据】菜单下双击【2.1 作业表】,屏幕即显示作业数据表。

作业数据表分 2 页,第 1 页内容包括料批、料线和送风参数,第 2 页内容包括综合鼓风参数喷煤、富氧和顶温、焦炭负荷等参数。数据表上半部为采样数据的小时正点平均值,下半部为数据一览表。作业表上方工具栏上的 8 个通用功能钮的操作如第 1 章所述。

作业表的大多数参数如风量、风温、风压等均自动采集。在正常自动采集情况下,作业表只需单击【补充】钮,录入每小时料批数和料线,即完成作业表的数据录入,如图 2-5 所示。

注意:工长使用【作业表】时必须及时补充录入作业表的数据,特别是小时料批等数据,否则【出铁表】的计算无法进行。因为只有先知道每小时上了几批料,才能够计算该时间段一炉的理论出铁量。当然,在完成了上料批次的数据自动采集之后,工长就无需手工录入料批数据了。



图 2-5 作业数据表及补充录入界面

单击【作业表】工具栏上的【提示】钮，屏幕上显示 4 项重要作业参数的优化操作提示单。这 4 项参数是：风量、透气性、鼓风动能、焦炭负荷。优化操作提示单如图 2-6 所示。

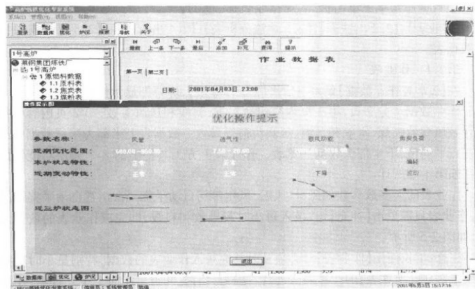


图 2-6 作业表的优化操作提示单

### 2.2.2 出铁表

在【2 常规作业数据】菜单下双击【2.3 出铁表】，屏幕即显示出铁数据表。出铁数据表共有 3 页，第 1 页内容是出铁的产量与化验成分等主要参数，第 2 页内容是利用系数、焦比、冶强等工艺计算参数，第 3 页是铁口、罐号等炉前出铁参数。

在出铁数据表工具栏上单击【修改】钮，进入出铁数据录入或修改对话框，如图 2-7 所示。

图 2-7 出铁数据表及其数据录入

注意：在添加出铁新数据情况下，出铁的炉次（炉号）是计算机自动顺序生成的，不能任意设定，也就是说出铁数据必须按照先后顺序输入，这是炉温一步预报计算所必须的。并且，如果超过 3 炉没有录入估计铁量，实际铁量的数据，则【添加】功能将被计算机“锁住”，不能输入新的炉号数据。总之，【出铁表】是一个关系复杂的数据表，也是工艺计算最多的一个数据表。

在添加状态下录入数据时，时钟 24:00 在计算机中表示为下一天的 0:00，但在各种统计中 0:00 数据均统计在前一天范围内。计算机与人工的这种差别，需要工长适应。工长输入数据时一定要注意：在输入 24:00 数据时改为输入 0:00 数据，并且一定要把日期加 1 天。这样各种统计就不会发生错误。

在录入数据中容易出错的是[S]的数量级，其合理范围应该小于等于 0.07，但有时容易把 0.025 输入为 0.25。为此，我们设置了【可能出错】提示，操作者遇到这种情况应该注意纠正。

在网络版“智能控制专家系统”下，出铁表的数据基本上已经由化验室按照化



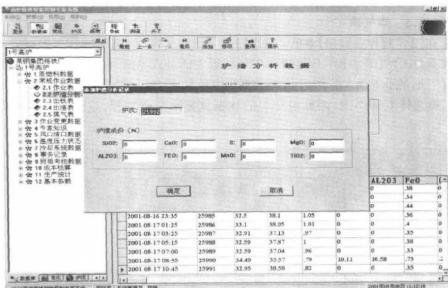


图 2-9 炉渣分析表的录入界面

输入子系统]录入。工长无需录入炉渣分析数据,只在查阅炉渣分析情况时才调用炉渣分析表。

### 2.2.4 出渣表

在[2 常规作业数据]菜单下,双击[2.4 出渣表],屏幕上即显示[出渣数据表]。单击工具栏上的[添加]按钮,即可进入数据录入的界面,如图 2-10 所示。出渣表的 8

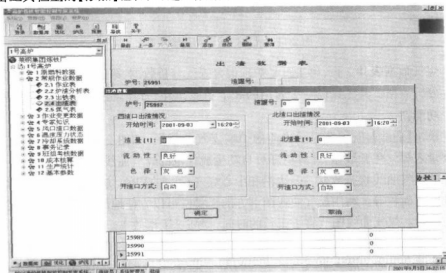


图 2-10 出渣数据表及其数据录入界面

项功能钮均为通用功能钮,其操作功能详见第1章第1.4节。

### 2.2.5 煤气表

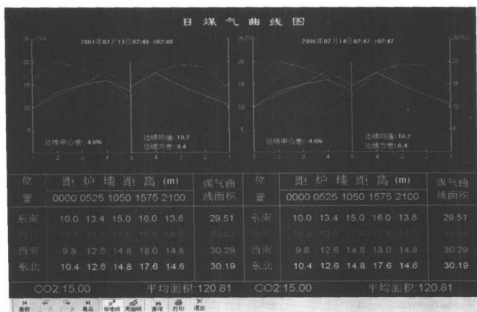
在【2 常规作业数据】菜单下双击【2.5 煤气表】,屏幕上即显示煤气数据表。单击工具栏上的【添加】钮,即可进入煤气数据表的录入界面,如图 2-11 所示。煤气采样数据是手工录入的,为了方便数据集中录入,设计了添加煤气记录表。由于煤气数据总体变动不大,因此添加表的数据重显上一条数据,这样可提高输入速度。

图 2-11 煤气数据表及其输入界面

煤气数据表共 2 页,第 1 页是炉顶混合煤气分析数据,第 2 页是炉喉煤气采样  $\text{CO}_2$  分析数据。其工具栏除了通用的 8 个功能钮外,另外设置了【曲线】和【提示】两个功能钮。

单击【曲线】钮,屏幕显示当前的炉喉煤气曲线图,如图 2-12 所示。值班工长只要录入煤气化验数据,计算机即可自动生成规范的煤气曲线图,并且计算出工长关心的煤气曲线状态数据,如:边沿和中心煤气  $\text{CO}_2$  的均值、方差、边中差以及煤气曲线所围面积等。利用煤气曲线图下方的工具栏可以方便地【查询】任意时间的煤气曲线图。煤气曲线图节省了工长的时间,提高了工作效率。

单击【提示】钮,屏幕显示煤气曲线状态的智能化判断。由计算机自动判断东西南北四个方向的煤气曲线属于下列的那种类型:展翅型(最佳)、双峰型(好)、未名型(一般)、馒头型(布料有问题)、倒钩型(炉墙结瘤),从而引起工长的注意。其

图 2-12 炉喉煤气 CO<sub>2</sub> 曲线图

优化操作提示图略。

## 2.3 作业变更数据

在数据库菜单下,单击【作业变更数据】前的【+】号即可展开【作业变更数据】菜单。它包括:【3.1 变料表】、【3.2 调剂指令表】、【3.3 故障记录表】和【3.4 炉料采集计算表】。

### 2.3.1 上料布料表(变料表)

在【作业变更数据】菜单下,双击【3.1 变料表】屏幕即显示上料布料数据表界面。在工具栏上单击【添加】钮,即进入炉料配比情况的录入界面,如图 2-13 所示。

根据变料的时间,推算确定变料的批次,并录入在【变更批次】栏目中。然后录入矿石批重和各类矿的配比百分数,焦炭批重,计算机即自动计算出各种矿石的用量。

料制的录入可以从【装料顺序】的下拉条中用光标单击挑选录入;也可以在【装料顺序】框中直接输入,或在原来数据上用光标双击选中,然后修改成所需的料制。

变料的【变更原因】同样可以从下拉条中选择,也可以自行输入汉字编写。计算机都会保存输入的信息。变更原因还可以在【系统】菜单下设定标准化术语。对特殊的变更原因一般由工长自行拼写。



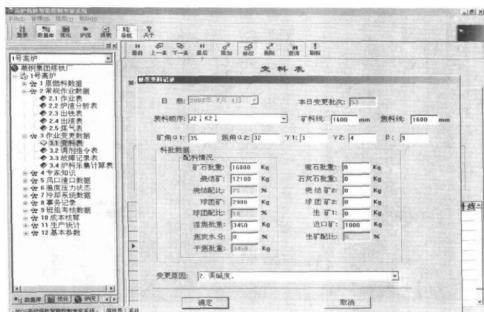


图 2-13 上料布料数据表与变料表录入界面

注意:夜里 0:00 以后的第一批料如果是延续头 1 天的料制与配比,则计算机将自动产生第 1 批料制并自动记录在上料布料表中。其他批次的变料,则必须按照发生变料批次把有关数据录入进去,完成变料表的录入工作。

### 2.3.2 调剂指令表

在【3 作业变更数据】菜单下,双击【调剂指令表】,屏幕即显示调剂指令数据表。

单击【添加】或【修改】,即可进入调剂指令录入界面,如图 2-14 所示。其中:【变更类型】和【变更原因】都可以通过单击下拉条来选择,而不必自己拼写文字输入。

### 2.3.3 故障记录表

在【3 作业变更数据】菜单下,双击【3.3 故障记录表】,屏幕即显示故障数据表。单击【添加】或【修改】,即可进入故障数据录入界面,如图 2-15 所示。

在故障表中,【故障类型】可单击下拉条选择,其标准术语是在【管理】菜单中的【参数设定】内设置。【处理摘要】可自行输入汉字,数据录入完成后单击【确定】钮。

### 2.3.4 炉料采集计算表

在【3 作业变更数据】菜单下,双击【3.4 炉料采集计算表】,屏幕即显示该表界面。

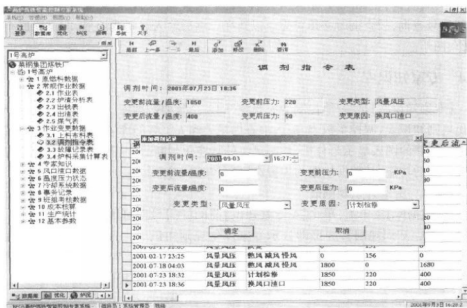


图 2-14 调剂指令表与录入界面

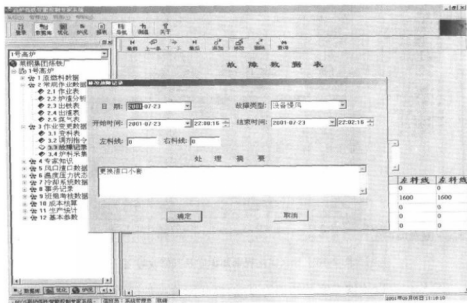


图 2-15 故障数据表与数据录入界面

此表用于自动采集上料系统数据的按炉汇总、与变料表的计划数据进行校对，检查槽下自动上料系统实际执行的上料参数(矿种与数量)与计划参数是否一致。

单击【查询】钮,屏幕显示人机会话界面。因查询中可以按照时间查询,也可以按照炉号查询,故查询时必须首先予以选择。然后输入时间或炉号,即可完成查询工作,图略。

## 2.4 专家知识库

【专家知识库】是“智能控制专家系统”的一个重要数据库。该数据库包括专家优化规则知识库、调控系数表、输入检查提示表和人工智能库 4 个数据表。冶炼过程优化规律的图表显示与分析,炉况等级的智能化判断,炉况顺行状态的诊断与预测等方面的功能,其数据依据均设置在【专家知识库】中。

### 2.4.1 专家知识规则表

在【数据库】菜单下,单击【4 专家知识】前的【+】号即可展开二级子菜单。双击【4.1 专家知识规则】,屏幕即显示专家优化规则知识库。先单击需要修改的参数,然后单击工具栏上的【修改】钮,则屏幕显示修改参数的界面,如图 2-16 所示。修改优化值上限与下限之后,单击【确定】,即完成了专家知识的修改工作。



图 2-16 专家优化规则知识库及其修改界面

专家知识库以炼铁专家的知识为基础,抓住影响高炉优质、低耗、高产、长寿多目标优化的关键参数,同时结合系统优化数学模型计算得到的各项规律和参数优化范围,建立起包括高炉过程的系统优化、质量优化、冶强优化、炉体温度场优化、煤气曲线优化以及出铁表、作业表、炉渣分析表、原料表、焦炭表等数据表的优化等方面的规则和优化数据。本表已经设置 99 项专家知识参数,通过单击【添加】钮仍

可增加新的专家知识参数。

在高炉生产的不同阶段,例如开炉阶段、炉役初期、中期和后期生产阶段,冶炼过程参数的优化范围是不同的。当外部条件变化时,各种参数的优化范围及其组合也会发生变化。因此,专家优化规则知识库需要随着高炉的不同发展阶段进行修改。图 2-16 的修改界面就是为之设计的。专家知识库修改后各种优化图形的变化将在以后各章中介绍。

### 2.4.2 调控系数表

在[4 专家知识]菜单下双击[4.2 调控系数表],屏幕上即显示调控系数表,如图 2-17 所示。单击[添加]或[修改],即可得到录入或修改调控系数表数据的工作界面。



图 2-17 调控系数表及其录入界面

调控系数表是动态计算高炉过程控制参数控制量变动的依据,所列控制参数分成不同的控制优先级。根据不同的炉况条件,采用不同的控制优先级方案。

调控系数表列入 13 项可控参数。

### 2.4.3 输入检查提示

针对工长手工输入数据中难免可能发生的录入错误,我们在各个重要的数据表的数据录入中设计了“把关”程序。由计算机对所输入的数据自动进行判断,检查录入的数据是否属于参数的合理范围。如果是,则计算机接受输入的数据;如果不属于合理范围,则计算机在人机界面弹出提示卡:“参数数据不在其合理范围,请注意检查改正”。

输入数据的智能化检查和避免错误是系统优化计算,求得正确优化规律的基础。用户应当认真对待计算机检查出来的错误数据并予以改正。

输入检查提示表包括原料表、焦炭表、煤气表、出铁表等 4 个数据表的 13 项参数录入数据的上限检查和下限检查。在【专家知识】菜单下,双击【4.3 输入检查提示表】,屏幕即显示如图 2-18 所示界面。单击【修改】钮,即可得到修改专家知识的人机会话界面。修改后,单击【确定】,即完成参数合理范围的认定工作。

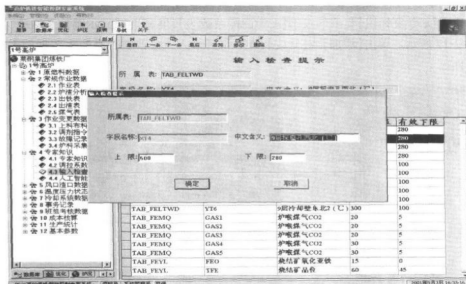


图 2-18 输入检查提示表及其修改功能界面

#### 2.4.4 人工智能库

“智能控制专家系统”的模型基础是样本空间模型。在【优化】软件包中的【优化决策】模块计算出来的系统优化分析表,是分析高炉过程优化规律的数据基础。系统优化分析表中样本向量包含 54 项参数。它是按照样本的起始时间与结束时间的顺序存放在人工智能库中。

人工智能库是一套多维数据库,它包含 5 种数据表,即均值表、方差表、最大值表、最小值表和数据量表。也就是说生产样本特征值向量包含 5 组向量。对生产样本的比较不仅是生产过程的平均水平的对比,同时也要对比生产过程的稳定性,即样本标准差进行对比。在寻求生产优化规律中还要对样本之间的差异显著性进行小子样统计检验。

在【专家知识】菜单下,双击【4.4 人工智能库】,屏幕即显示人工智能库的【均值表】,如图 2-19 所示。其他方差表、最大值表、最小值表、数据量表可通过单击人工智能数据表上方的标签即可得到,不在此一一列出。人工智能库主要用于查询

和进行优化分析。



图 2-19 人工智能库的均值表

## 2.5 风口渣口数据

在【数据库】菜单下,单击【5 风口渣口数据】前的【+】号即展开二级子菜单,包括【5.1 喷煤风口表】、【5.2 风口更换表】和【5.3 风口状态表】3 个数据表。这是管理高炉设备工作状态的数据表。用这些管理数据表替代原来手工记录的统计表,不仅提高了工长的工作效率,而且在计算机上查询历史数据更具方便性,便于总结分析。

### 2.5.1 喷煤风口表

在高炉喷煤工艺中,虽然每一个风口都安装了喷煤枪,但是,由于十几个风口的燃烧状态不同,工长可以决定那些风口暂时停止喷煤,假设在一座高炉的 18 个风口中,经常有少数风口停止喷煤,我们用“√”表示风口喷煤,用“×”表示风口停止喷煤。

在工长每小时例行工作记录中,在【5 风口渣口数据】菜单下,双击【5.1 喷煤风口表】,屏幕即显示喷煤风口数据。单击【添加】,即可得到图 2-20 所示的数据录入界面。

由于录入界面的数据是跟踪上一次的风口喷煤工作情况,因此,工长只需对个别风口调整状态,其余均可默认,然后单击【确定】钮即可完成新的喷煤风口设置。

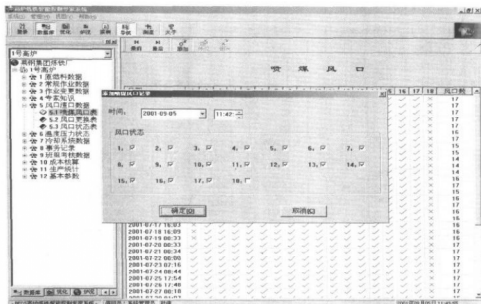


图 2-20 喷煤风口表及其数据录入

### 2.5.2 风口更换表

【风口更换表】用于记录 18 个风口 2 个渣口的更换情况,如图 2-21 所示。同时,由本表计算得到风口总面积用于其他数据表如计算鼓风动能等参数。

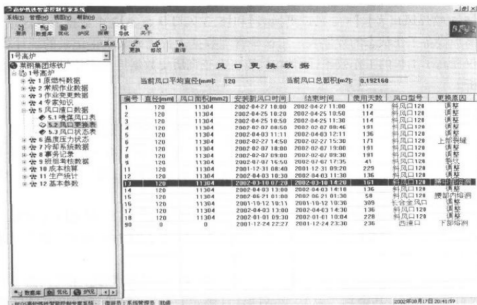


图 2-21 风口更换数据表

在【5 风口渣口数据】菜单下,双击【5.2 风口更换表】,屏幕即显示风口更换数据表。该表列出在线使用的风口和渣口的有关数据:更换时间、使用天数、风口型号、直径、面积和损坏部位等。数据表的工具栏有 3 个功能钮:【更换】、【修改】和【查询】。

(1) 【更换】钮与【修改】钮的使用。需要输入(或修改)风口更换信息时,首先单击选中风口号,该条数据变成蓝色,然后单击【更换】钮,屏幕显示风口更换数据录入界面(见图 2-22)。输入安装新风口的日期、时间,风口型号与更换原因都可由下拉条选择,然后单击【确定】钮,即完成新风口信息的录入。

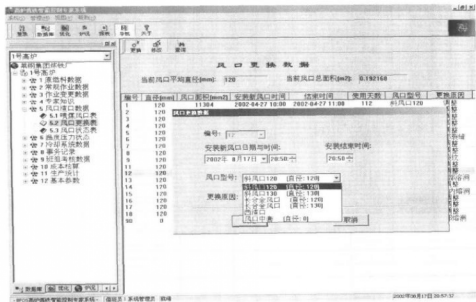


图 2-22 风口更换数据录入界面

(2) 【查询】钮的使用。需要查询某一风口的历史更换信息时,单击选中该风口号,然后单击【查询】钮,即可得到该号风口的全部历史更换情况表。

风口更换的原因包括:上、下部裂缝,上、下部砂眼,上、下部熔洞,煤磨,裂纹,内径,调整等 10 种情况。风口型号包括斜风口  $\phi 120\text{mm}$ 、 $\phi 130\text{mm}$ ,长合金风口  $\phi 120\text{mm}$ 、 $\phi 130\text{mm}$  等。

风口更换表提高了风口使用管理水平。它便于总结风口质量寿命和各个位置上风口的使用与损耗规律。

### 2.5.3 风口状态表

风口状态表是工长每小时检查风口工作情况的记录表。风口状态分为活跃、一般、呆滞、堵和其他 5 种。风口状态表是信息表而不是数据表,它的主要作用是记录结果和待查。该表有利于提高工长工作效率。



在【5 风口渣口数据】菜单下,双击【5.3 风口状态】,屏幕显示风口状态表,如图 2-23 所示。单击【添加】,屏幕显示数据录入界面。每一个风口配一个选择窗口,单击其下拉条可选择风口的 5 种工作状态。逐一完成选择后,单击【确定】,即在风口状态表中新添了 1 条记录。

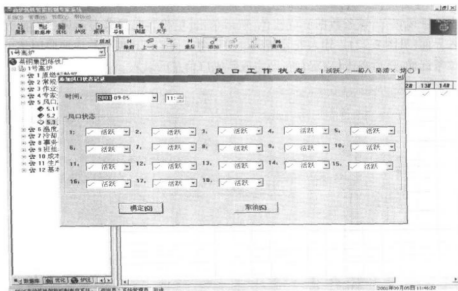


图 2-23 风口工作状态与录入界面

## 2.6 温度压力数据

高炉的温度与压力数据是监控高炉过程的重要数据。温度压力状态数据库包括 3 个数据表:【6.1 本体温度数据表】、【6.2 炉底温度数据表】和【6.3 压力数据表】。在数据库菜单下,单击【6 温度压力数据】前的【+】号即可展开这些数据表菜单。

### 2.6.1 本体温度数据

在【6 温度压力状态】菜单下双击【6.1 本体温度数据】,得到本体温度数据表如图 2-24 所示。

高炉本体温度数据均自动采集得到,不需手工输入。与 DCS 系统在线监控显示的数据不同点在于:在线监控数据为秒级采集数据的瞬时值,而本表的各检测点温度正点数据则是每小时中分钟级数据的平均值。

本表与其他数据表不同在于:它增加了炉身上部温度、炉身下部温度和炉喉温度 3 层温度的智能化判断图,以及高炉本体温度场的径向图和轴向图显示。从而提高高炉本体设备工作状态诊断的智能化水平。

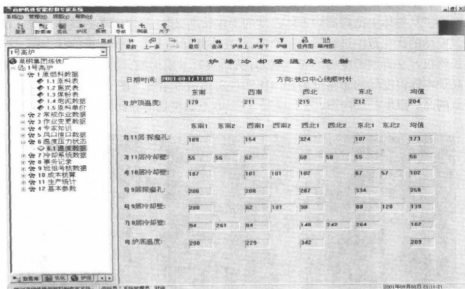


图 2-24 本体温度状态数据表

在炉喉温度数据表的工具栏上单击【炉喉】，屏幕上即显示炉喉温度的优化操作提示图如图 2-25 所示。它反映炉喉温度近 6 小时来的变化情况，以及按照专家知识库中设定的炉喉温度优化范围对比的情况。它提高了工长检查判断的工作效率，能够及时发现温度变化的异常情况。

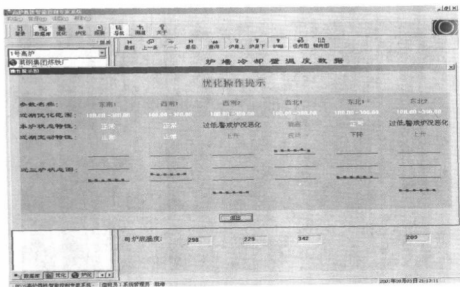


图 2-25 炉喉温度优化操作提示图

炉身上部温度和炉身下部温度的优化操作提示图与此类似,图略。

为了从整体上把握高炉本体温度的工作状态,建立起温度场的整体概念,我们对温度场的优化范围进行规范化处理,并且在此标尺下建立温度场的状态图,这样工长就很容易看到温度场的异常状态,从而及时采取措施,消除可能发生的故障。对高炉本体温度场的考察分为轴向图和径向图两种角度。图 2-26 是 8 层 46 个检测点的高炉温度场轴向图;图 2-27 是 8 层 46 点温度场的径向图。

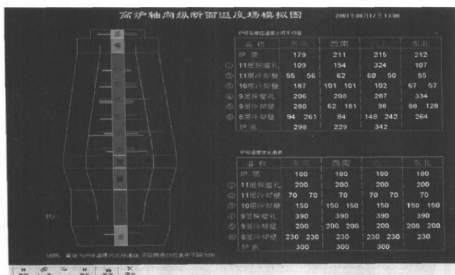


图 2-26 高炉本体温度场轴向图

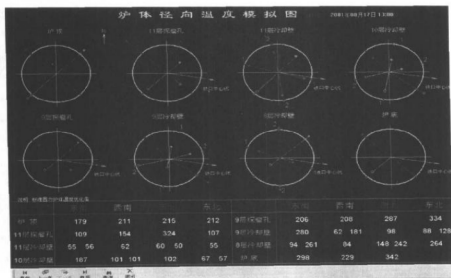


图 2-27 高炉本体温度场径向图

### 2.6.2 炉底温度数据

在[6 温度压力状态]菜单下,双击[6.2 炉底温度数据],屏幕上即显示炉底温度数据表如图 2-28 所示。由 18 个检测点的炉底温度数据组成炉底侵蚀状态的监控网络,有效地保障炉底的安全。

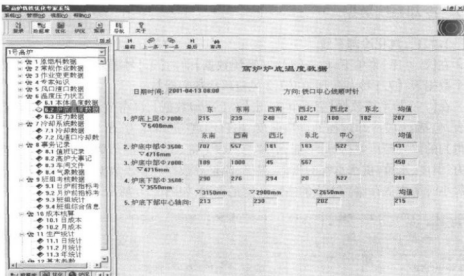


图 2-28 高炉炉底温度数据表

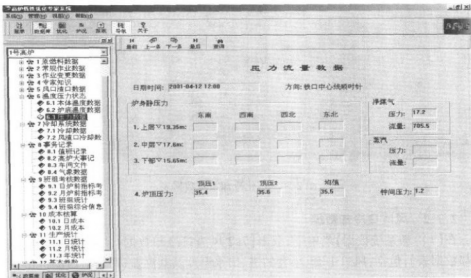


图 2-29 高炉压力流量数据表

### 2.6.3 压力数据表

在[6 温度压力状态]菜单下双击[6.3 压力数据], 屏幕即显示压力流量数据表, 如图 2-29 所示。本表数据来源于自动采集, 不需要人工输入数据。本表主要用于查询、调阅。

## 2.7 冷却系统数据

### 2.7.1 汽化冷却系统

在[数据库]菜单下, 单击[7 冷却系统数据]前的[+]号展开二级子菜单, 包含两个数据表: [7.1 冷却数据]和[7.2 风渣口冷却数据]。

在[7 冷却系统数据]菜单下, 双击[7.1 冷却数据], 屏幕显示汽化冷却系统数据表, 包括: 3 段冷却过程的进口温度、出口温度、进口压力、出口压力以及由此计算得到的温差与压差; 炉身下部、炉腰与炉腹上部、下部的冷却壁温度; 冷却汽包的压力、温度、水位; 供水总管的压力、温度、流量等数据。本表数据来自自动采集, 按照每小时平均值存储。本表的主要功能是查询, 如图 2-30 所示。

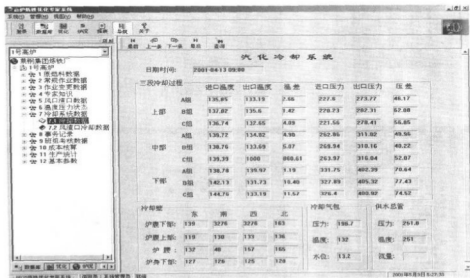


图 2-30 汽化冷却系统数据表

### 2.7.2 风渣口冷却数据

在[7 冷却系统数据]菜单下, 双击[7.2 风渣口冷却数据], 屏幕显示【风、渣口冷却数据表】, 包括: 风口中套、小套的进、出水温度及其温差; 两个渣口的进出水温度及其温差。图略。

## 2.8 事务记录

在数据库菜单下,单击【8 事务记录】前的【+】号展开数据表菜单得到:【8.1 值班记录】、【8.2 高炉大事记】、【8.3 车间文件】和【8.4 气象数据】。

### 2.8.1 值班记录

为了提高高炉生产过程的管理信息化水平,使原来《高炉日志》手工记录的内容全部由计算机管理起来,为此设计了值班记录表,用于记录交接班的简要情况、本班生产的简要状态以及值班工长签名等内容。

在【8 事务记录】菜单下双击【8.1 值班记录】,则屏幕上显示值班记录表。如图 2-31 所示。单击数据表工具栏中的【添加】钮,就得到录入数据的界面。工长在值班记录框录入汉字信息;在【签名】框单击下拉条,选择班别(甲乙丙丁)和工长姓名。工长姓名是在【12.2 用户登记表】中设置的。然后单击【确定】钮,即完成值班记录填写工作。

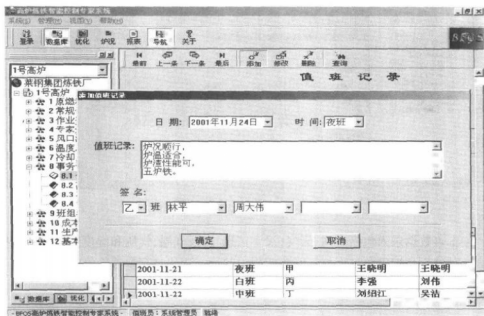


图 2-31 值班记录表及其数据录入界面

### 2.8.2 高炉大事记

在【8 事务记录】菜单下双击【8.2 高炉大事记】,则屏幕上显示高炉大事记表。该表用于分类记录高炉生产过程的重要事件,以便查询和总结。单击数据表工具栏中的【添加】钮,就得到数据录入的界面。高炉大事记表与值班记录表格式类似,图略。

### 2.8.3 车间文件

在【8 事务记录】菜单下双击【8.3 车间文件】，屏幕上显示车间文件表。该表用于存储、查阅高炉车间的重要文件，如有关安全生产的规定、奖励政策等。单击工具栏上的【添加】钮，就得到建立新文件的界面。车间文件表与值班记录表格式类似，图略。

### 2.8.4 气象数据

在【8 事务记录】菜单下双击【8.4 气象数据】，则屏幕上显示气象数据表。单击数据表工具栏中的【添加】钮，就得到录入气象数据的界面。如图 2-32 所示。

The screenshot shows a software interface for meteorological data. On the left is a sidebar with a tree view containing various data categories like '1 高炉', '2 炼铁', etc. The main window has a title bar and a menu bar. Below the menu bar, there's a section for '气象数据表' (Meteorological Data Table). It includes input fields for '日期' (Date), '天气' (Weather), '气温' (Temperature), '气压' (Pressure), and '湿度' (Humidity). There are also buttons for '确定' (OK) and '取消' (Cancel). At the bottom, there's a table showing historical data entries.

日期	天气	气温	气压	湿度
2001-07-15 10:27	晴	32	0	0
2001-07-18 21:27	晴	35	0	0
2001-07-23 19:53	南转晴	20	0	0
2001-07-24 13:09	雷雨，5-4级大风	31	0	0
2001-08-01 14:09	阴	23	0	0
2001-08-02 06:41	阴，有小雨	22	0	0

图 2-32 气象数据表及其录入界面

本表数据录入包括时间、天气(汉字信息)以及气温、气压和湿度的数据。这些信息对分析高炉生产过程与气候密切相关的特殊变化是有参考价值的。

## 2.9 班组考核

在数据库菜单下单击【9 班组考核】前的【+】即展开数据表菜单，包括：【9.1 日炉前指标考核】、【9.2 月炉前指标考核】、【9.3 班组统计】和【9.4 班组综合信息】。

### 2.9.1 日炉前指标考核

在【9 班组考核】菜单下双击【9.1 日炉前指标考核】，屏幕即显示日炉前指标考核表。参看图 2-33 的【月炉前指标考核表】(项目相同)。本表用于查询，炉长或工长只需输入查询时间即可得到任意一天的 3 班情况。该表考核炉前出铁工作的 11 项内容。由于在常规作业数据表中已经按炉录入有关的内容，因此本表的汇总统

计完全是数据资源共享的结果。

本表使班组管理和评比工作透明化,有利于促进班组之间的生产竞赛。

### 2.9.2 月炉前指标考核

在【9 班组考核】菜单下双击【9.2 月炉前指标考核】,屏幕即显示月炉前指标考核表,如图 2-33 所示。

项目	甲	乙	丙	丁
1. 炉前宽计:	288.67 吨	4194.13 吨	10037.7 吨	10013.7 吨
2. 炉次宽计:	0	27	87	87
3. 平均单炉产量:	143.19	155.34	149.82	145.48
4. 炉风出铁:	0	0	0	0
5. 炉风炉口:	0	0	0	0
6. 炉风炉口:	0	0	0	0
7. 炉风炉口:	0	0	0	0
8. 炉量差 > 25吨炉数:	4	19	26	27
9. 炉口温度合格率:	0 %	0 %	0 %	0 %
10. 出铁正点率:	100 %	100 %	100 %	100 %
11. 出铁口次数:	0	0	0	0

图 2-33 月炉前指标考核表

本表栏目与日炉前指标考核完全一致。区别在于日考核只能显示 1 天中 3 个班的对比,而月考核则能够显示任意一段时间中 4 个班的统计汇总对比。

本表用于查询。单击数据表工具栏上的【查询】钮,屏幕显示查询时间对话框,输入查询开始时间与结束时间,立即得到该时间段的炉前指标分班组考核数据。

### 2.9.3 班组统计

在【9 班组考核】下双击【9.3 班组统计】,屏幕显示班组统计数据,其栏目与下述的图 2-34 的班组综合信息表的栏目是一致的,图略。其不同点在于:班组统计列出每月甲、乙、丙、丁 4 个班的统计对比,只有平均值用于班组竞赛数据的汇总。而班组综合信息是按照 3 个班滚动推进的方式显示各个班 22 项的均值与标准差,便于接班工长总结上 2 班的操作经验。

### 2.9.4 班组综合信息

在【9 班组考核】下双击【9.4 班组综合信息】,屏幕即显示班组综合信息表,如图 2-34 所示。本表用于对比各班作业的 21 项参数,包括均值与方差。通过对比可促进班组之间的技术交流。



项目	07-10	08-08	08-08	08-08	08-08
1. 班组成员	3.37	± 0	3.345	± 0.025	3.201
2. 班组成员	36	± 0	404	± 0.01	5.21
3. 班组成员	302	± 0	305	± 0	0.23
4. 小时铁量	± 0	± 0	75.12	± 14.27	18.64
5. 小时铁量	± 0	± 0	7	± 5.3	± 1.21
6. 小时铁量	± 0	± 0	500	± 0.45	0.00
7. 小时铁量	± 0	± 0	3.29	± 0.17	3.246
8. 吨铁成本	5.517	± 0.357	± 0	± 0	± 0
9. 吨铁成本	52700	± 157	5001	± 0.46	0.550
10. 风量	300660	± 1046	312195	± 3050	111116
11. 风量	907	± 7	915	± 11	915
12. 风量	229	± 0	226	± 0	226
13. 风量	117	± 0	110	± 1	115
14. 风量	16	± 0	17	± 1	17
15. 平均风量	200	± 11	213	± 25	170
16. 平均风量	160	± 1	104	± 19	141
17. 煤气利用率	± 0	± 0	± 0	± 0	± 0
18. 煤气利用率	± 0	± 0	4.710	± 0	4.710
19. 煤气利用率	± 0	± 0	2042	± 0	2042
20. 煤气利用率	± 0	± 0	22542	± 0	22542
21. 综合吨铁成本	± 0	± 0	50.46	± 0	50.3

图 2-34 班组综合信息对比表

## 2.10 成本核算

在数据库菜单下单击【10 成本核算】前的【+】号即可展开数据表菜单,包括【10.1 日成本】和【10.2 月成本】两种成本核算数据表。

成本核算表是充分利用“专家系统”的数据资源共享的优越性,把工长能够控制的 10 项原燃料消耗进行岗位成本核算。这是借鉴先进企业内部成本核算的经验,利用计算机先进工具,把企业资源规划(ERP)应用于高炉生产过程的一种尝试。把这种先进的管理手段与一定的奖励政策相结合,肯定能够促进工长实行优化操作,尽可能降低各种原燃料消耗,从而降低生铁的成本。

### 2.10.1 日成本

在【10 成本核算】菜单下双击【10.1 日成本】,屏显示日成本核算表,如图 2-35 所示。

本表是通过单击工具栏上的【查询】钮,输入所需查询的时间,即可得到当日的岗位成本核算情况。单击【上一条】、【下一条】钮,也可以快速查询近日的高炉岗位吨铁成本。

### 2.10.2 月成本

在【10 成本核算】菜单下,双击【10.2 月成本】,屏幕上即显示【月成本核算表】。【月成本核算表】的栏目与【日成本核算表】的栏目完全一样,图略。

利用月成本核算表可以查询任意时间段的岗位成本情况。在月成本核算表工具栏上单击【查询】,输入所需查询的开始时间、结束时间,单击【确定】钮,等待数秒

项 目	单 价	净 单 耗	毛净比	吨铁成本
1. 铁 价:	255.87 元/t	1.203 t	1.0	427.15 元
2. 烧结2:	368 元/t	0 t	1.0	0 元
3. 球团2:	383.76 元/t	1.424 t	1.0	162.71 元
4. 生 矿:	167.3 元/t	0 t	1.0	0 元
5. 进口矿:	206 元/t	0 t	1.0	0 元
6. 石灰石:	88 元/t	0 t	1.0	0 元
7. 雪 石:	380 元/t	0 t	1.0	0 元
8. 焦炭:	433 元/t	3.462 t	1.0	149.9 元
9. 废 料:	274 元/t	0 t	1.0	0 元
10. 小 计:	388 元/t	0 t	1.0	0 元
合 计:				238.77 元

图 2-35 日成本核算表

钟,即可得到该段时间的高炉岗位的成本核算结果。

因此,成本核算表给炼铁厂实施岗位成本考核提供了十分方便、高效的工具。它有效地改善成本核算工作。显然,如果没有成本核算表模块,要想实施岗位成本考核,其计算工作量是沉重的负担,也是难以坚持的。

## 2.11 生产统计

在数据库菜单下,单击【11 生产统计】前的【+】号即可展开数据表菜单。包括:【11.1 日统计】、【11.2 月统计】和【11.3 年统计】3个数据表。

生产统计库囊括了炼铁生产上关心的 59 项参数的日统计、月统计和年统计数据。也是高炉查阅自己各项技术经济指标的一个数据库。

### 2.11.1 日统计

在【11 生产统计】菜单下双击【11.1 日统计】,屏幕上即显示日统计表,如图 2-36 所示。

日统计表共 3 页,对高炉的生产指标、原燃料消耗、原料情况、设备与工艺状态、作业水平等 59 项参数,进行了每一天生产情况的汇总统计。本表用于查询。单击【查询】钮,输入需查询的日期,即可得到当天的日统计表。在调阅日统计表中,如果用【上一条】或【下一条】钮查不到某一天的日统计表数据,那么只要单击【查询】钮,输入查阅的日期,则可立即计算得到当天的日统计表。





### 2.12.2 用户登记表

在【12 基本参数】菜单下双击【12.2 用户登记表】，屏幕上即显示操作人员名单，如图 2-38 所示。

用户登记表的功能是用于班组人员管理。包括【添加】、【修改】、【删除】和【分组】4 种功能。人员管理项目包括工号、姓名、性别、单位和职务。性别和职务都可以通过下拉条进行选择。录入完成后单击【确定】钮，即完成添加新的人员工作。

【分组】钮用于对操作人员名单进行分组，其界面图略。

### 3 过程优化与智能控制

在原国家冶金局规划发展司、中国金属学会、冶金科技发展中心 1999 年制定的《冶金科技发展指南(2000—2005 年)》中,把“高炉操作优化、智能化”作为炼铁专业技术进步的关键技术之一。在冶金自动化技术中,把开发“高炉过程优化控制智能系统”作为“前沿技术”之一。国家对传统产业技术进步的大政策是“信息化带动工业化”。因此,应用信息技术于高炉炼铁工艺,实现冶炼过程的优化与智能控制成为“高炉专家系统”的技术核心。

我国炼铁专家提出的“优质、低耗、高产、长寿”炼铁目标和“安全、稳定、均衡、顺行”的操作方针,是建立炼铁过程多目标优化数学模型的工艺指导思想。把炼铁的工艺要求、工艺语言、工艺计算与信息技术、计算机技术、数学模型技术有机地结合起来,把工长第一线的操作经验和定性判断变成计算机的定量计算和智能化分析,双向沟通工艺语言与计算机语言,提高高炉冶炼过程的信息化水平,这就是“智能控制专家系统”的技术路线。

“智能控制专家系统”的应用实践业已证明:依靠高炉过程的优化与智能控制能够改善高炉的各项技术经济指标。这一目标是如何实现的,只要认真地研究本章各程序模块的功能与操作就能够有所收获。

在第 2 章建立完备的数据库和数据表,实现数据资源共享的基础上,本章针对炼铁过程的各个重要工序环节、各类重要参数分别建立数学模型和软件模块,进行工艺分析计算、系统优化计算和智能化分析判断。这些模块既有高炉工长生产操作中强有力的辅助工具;也有技术人员在工艺技术分析中所需要的模型软件,能够高效率地得到技术分析结果和图表;同时也为炼铁厂长的科学管理与优化决策提供了系统优化的数量依据。

“智能控制专家系统”进行系统分析与过程优化的软件模块集中在【优化】软件包中。单击工具栏上的【优化】钮,展开【优化】总菜单,可见其包括 7 个方面:【1 炉温预报】、【2 配料布料】、【3 图表监测】、【4 优化决策】、【5 治强优化】、【6 时间序列图】和【7 统计分析图】。

通过应用这 7 个软件模块,展开各自的子菜单,进入各类分析与计算界面,按照操作提示完成各操作步骤,我们就能够在线获得冶炼过程的优化信息。通过在线数据计算出原来只能定性而无法定量说明的优化规律,观察到原来看不到的图像及其发展规律,在几秒内得到原来需要几十分钟甚至几天才能得到的计算分析

结果等等。以下分别介绍各个软件模块的功能与操作。

### 3.1 炉温预报

炉温是影响高炉技术经济指标的关键参数。对炉温的预测与控制一直是工长操作高炉技术水平的标志。如何在炉温预测与控制的关键技术中应用计算机,国内外进行了长期大量的研究,在建立数学模型方面取得了丰富的成果。国外大型高炉的炉热预报是建立在风口测温、铁水测温等自动化检测装备的基础上,通过实时检测参数计算得到炉热指数来预报炉温 $[Si]$ 的发展。然而,国内一般高炉的原燃料质量和自动化检测条件无法与国外的大高炉相比。因此,许多国外适用的炉温预报数学模型,无法简单地照搬到国内的高炉上。究其原因在于炉料质量的波动和检测信息不完全,模型预报结果无法达到高炉生产的实用要求。

针对国内高炉的特点,总结我国炼铁行家判断、控制炉温的经验,借鉴国外分析炉温发展的方法,综合这些方面的研究,本“专家系统”创新性地从几个不同的角度建立炉温发展的预报模型,组成一套指导炉温预测与控制的软件仪表,为工长判断复杂的炉温变动提供一个得力的分析工具。高炉工长结合自己的实践经验应用这些软件仪表,就一定能够正确地、预见性地把握炉温的发展方向,实现炉温的优化控制。

炉温作为工长把握高炉生产进程和炉况的一个综合性参数,对其分析判断并不仅仅是代表炉内温度的铁水含硅量 $[Si]$ 这一项参数。而且还要分析与之密切相关的,构成炉温全面判断有重要价值的其他影响因素,如铁元素的还原速率、 $[S]$ 和炉渣碱度 $(R)$ 等参数。为了把工长建立在个人经验基础上的炉温判断过程,与计算机的数据可视化技术结合起来,我们建立了分析判断炉温中长期走势的四元时间序列图。同时,吸收了炼铁专家判断炉温的定性分析经验,把炉热、炉凉、过热、过凉等工艺定性语言,给出一个数量化的模型描述,通过计算机逻辑判断的推理机制,形成炉温趋势判断的智能化模块。把反映炉温中长期发展趋势的时间序列图、反映炉温近期3炉变动规律的优化操作提示和数值预报命中率检验表合成在一起,就建成一个工长在线使用的综合性软件仪表—炉温预测控制图。这就是【炉温预报】模块的主要功能。

在【优化】菜单下,单击【1 炉温预报】前的【+】号,展开炉温预报二级子菜单,包括【1.1 炉温发展趋势】、【1.2  $[Si]$ 、 $[S]$ 数值预报命中率检验】、【1.3 四元时间序列图判断】和【1.4 炉温预测控制图】共4个功能模块。这些工艺功能块从不同角度,以可视化的数据与图形,分析炉温的发展,给出方向和数值预测,给出智能化的判断和控制策略提示。我们将结合工艺原理、数学模型说明各功能模块的应用和操作步骤。

#### 3.1.1 炉温发展趋势

在【1 炉温预报】菜单下,双击【1.1 炉温发展趋势】,屏幕上即显示【炉温发展趋

势判断图],如图 3-1 所示。该图把炉温发展趋势判断分解为炉温状态特性判断与炉温波动特性判断两部分,即左、右两个图框。该图下方是双参数综合判断炉温 21 种趋势,对近 3 炉的炉温发展趋势给出综合判断结论,并且对下一炉[Si]的发展方向给出提示。

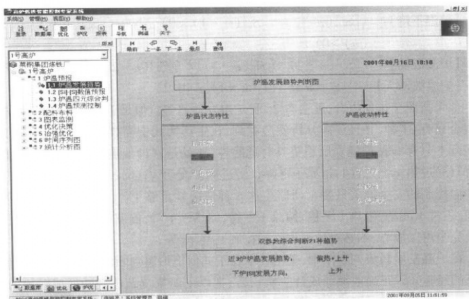


图 3-1 炉温发展趋势判断图

单击工具栏上的【查询】按钮,输入需要查询的时间或炉号,就可以观察到指定时间或炉号的炉温发展趋势判断图。通过单击【上一条】或【下一条】,我们就可以连续地观察和分析相邻几炉的炉温发展动向,从而对炉温的复杂波动作出正确的判断。

本功能模块的工艺原理是:通过工艺分析,对炉温发展趋势的判断实际上包含着炉温状态特性和炉温波动特性两个方面。根据炼铁专家知识,炉温的状态特性一般分为 5 个层次:炉温正常、偏热、偏凉、过热、过凉。同样,炉温波动特性也分为 5 个层次:平稳、上升、下降、波动、波动大。

每一层次特性对应于一定的[Si]-[S]范围。把工艺语言转化为计算机能够识别的数理逻辑语言,我们的定义是:

【炉温正常】=:( $[Si] \in [0.40 - 0.55]$ ). AND. ( $[S] \in [0.020 - 0.045]$ )

【炉温偏热】=:( $[Si] \in [0.55 - 0.70]$ ). AND. ( $[S] \in [0.020 - 0.030]$ )

【炉温偏凉】=:( $[Si] \in [0.25 - 0.40]$ ). AND. ( $[S] \in [0.050 - 0.065]$ )

【炉温过热】=:( $[Si] \in [0.70 - 0.90]$ ). AND. ( $[S] \in [0.010 - 0.030]$ )



【炉温过凉】= : ([Si] ∈ [0.15 - 0.25]). AND. ([S] ∈ [0.060 - 0.080])

而炉温的波动特性则涉及均值  $\mu_i$  与标准差  $\sigma_i$ , 其定义是:

【炉温平稳】= : ([Si] ∈ [ $\mu_1 \pm \sigma_1$ ]). AND. ([S] ∈ [ $\mu_2 \pm \sigma_2$ ])

【炉温上升】= : ([Si](n-1) - [Si](n-2) > 0). AND. ([Si](n) - [Si](n-1) > 0)

【炉温下降】= : ([Si](n-2) - [Si](n-1) > 0). AND. ([Si](n-1) - [Si](n) > 0)

【炉温波动】= : ([Si](n-2) - [Si](n-1)) × ([Si](n-1) - [Si](n)) < 0

【炉温波动大】= : |[Si](n) - [Si](n-1)| ≥ 0.2

如果按照全排列组合, 就会有 25 种炉温发展趋势。但是工艺上实际可能发生的组合只有 21 种, 并且深入分析就会看到: 在生产实践中需要工长密切注意的隐患实际上只有 6 种炉温发展趋势具有危险性, 这就是: (1) 偏热 + 上升; (2) 偏凉 + 下降; (3) 过热 + 上升; (4) 过凉 + 下降; (5) 过热 + 波动大; (6) 过凉 + 波动大。工长对炉温控制的安全把关只要密切监控这 6 种情况就足够了。其他情况如: 正常 + 平稳, 正常 + 波动, 偏热 + 平稳, 偏凉 + 平稳, 偏热 + 下降, 偏凉 + 上升等 6 种情况, 工长完全可以放心, 不必对炉温作剧烈控制调整, 等等。

在炉温发展趋势判断图中, 关键技术在于如何把炉温判断的工艺语言, 即炼铁专家的经验知识正确地翻译成计算机语言, 把以上纷繁复杂的判断变成轻松的计算机快速判断。然后把计算机判断结果用工长熟悉的工艺语言表达出来, 给出明晰的提示。

通过其他模块的优化分析, 我们建立了工艺语言与 [Si]-[S] 数据之间的上述对应关系。例如炉温【正常】= : ([Si] ∈ [0.40, 0.55]). AND. ([S] ∈ [0.020, 0.045]) 等等。通过数理逻辑模型, 把人工经验判断炉温的发展趋势变成计算机自动推理判断的过程, 并且用工艺语言给出判断结果, 例如【最佳炉温, 注意保持】, 【炉温波动, 注意调控】, 【炉温向热发展, 注意中线调控】等等。这些判断为工长分析炉温发展趋势, 进行炉温调控提供了有力的辅助工具。这就是炉温发展趋势智能化判断的数理逻辑模型。

### 3.1.2 [Si]-[S]数值预报检验

在【1 炉温预报】菜单下, 双击【1.2 [Si]-[S]数值预报】, 屏幕上即显示 [Si]-[S] 数值预报检验表, 如图 3-2 所示。该表可用于检验任何时间段 [Si]-[S] 数值预报的命中率和成功率。单击【检验】钮, 屏幕显示对话框。输入检验的起始时间和终止时间, 单击【确定】, 计算机即计算出检验日期内的 [Si]-[S] 数值预报的命中率和成功率。

本“专家系统”把工艺上对炉温 [Si]、[S] 的目测预测和经验预测扩大为对 [Si]-[S] 双参数的数值预报。应用平稳时间序列混合模型计算 [Si]-[S] 预测值是在出

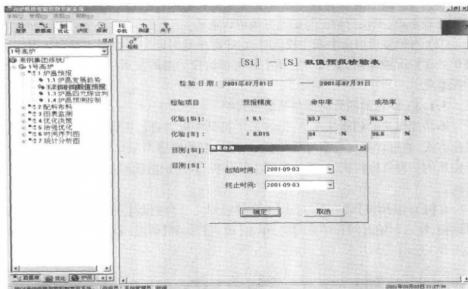


图 3-2 [Si]-[S]数值预报检验表

铁表中进行的。在出铁表中,既有[Si]-[S]的化验值栏目,也有按照数学模型计算的[Si]-[S]预测值栏目,因此可以实时比较每一炉铁水的[Si]-[S]预测值与化验值的差异。但在出铁表上无法得知一天、一周、一个月中几百炉出铁数据究竟有多少炉是预报命中了。检验数值预报的命中率和成功率则是本表的功能。

所谓命中率就是[Si]-[S]数值预报符合预报精度要求的炉数与该时间段全部炉数之比,也就是符合精度要求的预报炉数发生的概率  $P_1$ 。即:

$$P_1 = \text{Prob. } \{ |YC[Si](i) - [Si](i)| \leq 0.1, i = 1, 2, \dots, n \}. \quad (3-1)$$

所谓成功率则是除了符合命中率要求的炉数外,炉温预报的发展方向与实际炉温发展的方向一致也是工艺上有价值的预报,称为预报成功。因此,预报成功率计算公式是:

$$P = P_1 + P_2$$

其中:  $P_1$  计算如式 3-1,  $P_2$  计算如下式:

$$P_2 = \text{Prob. } \{ ((YC[Si](i+1) - [Si](i)) * ([Si](i+1) - [Si](i))) \geq 0 \} \\ \text{AND. } |YC[Si](i) - [Si](i)| > 0.1, i = 1, 2, \dots, n \} \quad (3-2)$$

炉温预报成功率一般总是大于炉温预报命中率。生产实践表明,炉温预报命中率  $P_2 \geq 80\%$ , 预报成功率  $P \geq 85\%$ , 则炉温预报模型就具有较好的生产使用价值。

命中率与成功率检验运用的是概率统计模型。命中率检验表的使用价值在于它从另一角度帮助工长认识炉温的发展与控制规律。

(1) 当炉温预报命中率较高时,意味着平稳时间序列模型符合炉温发展实际,炉温比较平稳,工长对炉况与炉温发展可以放心。

(2) 当炉温预报命中率比较低时,意味着平稳时间序列模型不符合炉况实际,高炉处在炉况波动期,工长一定要小心密切监控炉温的发展,不可掉以轻心,造成炉况恶化。

### 3.1.3 炉温的四元时间序列综合判断

本功能模块的创新性在于:把过去工长只能依靠自己的经验判断炉温发展的工作方式,通过计算机数据可视化技术,把炉温的发展形象化地描述出来,成为工长使用的一种软件仪表,从而改变了工长分析、判断炉温状态及其发展的传统工作方式。

在【1 炉温预报】菜单下,双击【1.3 炉温四元综合判断】,屏幕显示选择时间段对话框,输入起始时间和结束时间,单击【确定】,得到【炉温四元综合判断时序图】,如图 3-3 所示。

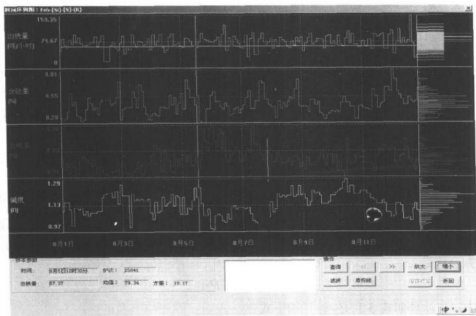


图 3-3 炉温四元综合判断时序图

在图 3-3 的右下方,有 8 个时间序列图的通用功能钮,分别单击它们可以完成图形放大、缩小、滤波、复原、左移、右移、查询、质量控制线和退出等项操作,得到一张便于进行分析的综合判断图。在图 3-3 的左下方,是样本参数的数值显示。当移动光标到图形上时,单击左键,则画面上出现十字光标。十字光标交点在哪一项参数上,则左下角就显示该参数的参数名、时间、炉号、均值与方差。

图 3-3 中,4 条时间序列图依次是:

- (1) 小时出铁量 Feh,反映高炉的出铁速率的变动;
- (2) [Si]反映炉温[Si]的波动;
- (3) [S]反映硫含量[S]的波动;
- (4) (R)反映炉渣碱度的变动。

因此可以看到:炉温四元综合判断时序图是把与[Si]密切相关的 4 项参数并列在同一时间坐标上进行综合考察和分析。时间序列图显示的参数间复杂的关联性,能够帮助工长深入分析炉温的变化,作出正确判断,及时采取应变对策和调控措施,预见性地控制炉温发展。例如,从时间序列图上可以看到:在平稳炉温下,[Si]与[S]呈现负相关规律,硅的时间序列图上升则硫的时间序列图下降,反之亦然。但是,在炉况异常时,这种规律则变成[Si]高[S]亦高等等。从四元时间序列图上这些正常和异常的图形变化可以看得很清楚。

本软件仪表使用与分析方法是:

(1) 在【1 炉温预报】菜单下双击【1.3 炉温四元综合判断】进入时间序列图后,首先从时间序列图的波动形状上考察参数的中长期发展变化趋势,即长波载波分析。单击【质量控制线】(质控线),立即可以判断当前炉温[Si]是处在均值线上方还是下方,是在正常波动范围内(上下控制线范围内)还是已经越过控制线。再单击鼠标左键,显示十字光标,即可查询各炉数值,通过这些步骤就能够从宏观态势上对当前炉温状态给出正确估计:平稳、波动、形成趋势、过热、过凉等等。

(2) 依次单击【放大】钮、【缩小】钮、【>>】右移钮、【<<】左移钮和【滤波】钮,通过调整得到一个清晰的画面,如图 3-3 所示。从图上能够更细致地判断[Si]、[S]的起伏波动过程。由于滤波后的图形能够消除各种干扰,反映炉温的发展惯性和炉温的起伏,以及当前[Si]-[S]在波形上的位置,工长也就不难确定下一步炉温该向何方向调控或者不需要调控。

(3) 炉温综合判断四元时间序列图给出一个明确的炉温波动发展图形,工长可以在此基础上进行深入的分析讨论,比较容易统一认识。例如,在什么条件下可以放心地实行低硅操作;当硅高硫也高时,炉内发生了什么异常等等。通过应用四元时间序列图进行炉温操作的精细分析,可以达到更高水平的炉温控制,即在平稳炉况下达到较高的利用系数和较低的焦比。

#### 3.1.4 炉温的预测控制

综合以上分析可知,“智能控制专家系统”对炉温的预测控制策略不是建立在一切都仅靠[Si]的数值预报模型上,而是从多种角度为工长提供正确分析、判断、控制炉温的工具,从而实现炉温的平稳控制。

从运筹学与控制论角度分析,高炉的炉温发展过程是一个可控的随机过程,是众多参数的随机分布系统。简单地把肯定型数学思路应用于随机系统是行不通

的。因此,仅仅依靠数值预报进行炉温控制在实际上行不通。数学上可以计算证明:在高炉的炉温强波动条件下(一般高炉[Si]的标准差均大于0.15%),不论是神经网络模型,或是最小二乘模型,或是时间序列模型,众多数学方法都无法使[Si]预报在精度 $\pm 0.1\%$ 范围内达到80%以上命中率。

为此,本专家系统创新地设计了一套【炉温预测控制图】如图3-4,作为高炉工长预测控制炉温的综合性软件仪表。

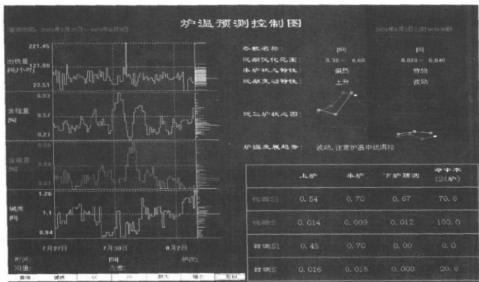


图 3-4 炉温预测控制图

在【1 炉温预报】菜单下,双击【1.4 炉温预测控制】,屏幕显示选择时间对话框,输入起始时间和结束时间,单击【确定】钮,得到相应时间的炉温预测控制图。其使用方法是:

(1) 左半图是一周时间的【炉温四元时间序列图】。它用于考察7天来炉温发展情况,即中长期发展趋势。其各项功能钮的操作与【1.3 炉温四元综合判断】中的操作是一致的。

(2) 右上半图是近期3炉[Si]-[S]状态所反映的炉温发展智能化判断与专家知识指导。其原理与【1.1 炉温发展趋势】相同。在状态图中,第4点是下一炉的[Si]-[S]预报值的位置。

(3) 右下半图是下一炉的炉温数值预报,包括[Si]与[S]的数值预报,以及最近24炉炉温预报的命中率检验。其原理与【1.2 [Si]-[S]数值预报】一样。

图3-4在高炉生产中投入在线应用,为高炉工长提供了一个十分有用的综合性的软件仪表。它的使用明显减少了炉温发展趋势判断上的失误,促进炉温的平稳控制。实践表明炉温预测控制图是工长平稳控制炉温的有效手段。

## 3.2 配料布料

### 3.2.1 简要原理说明

本节介绍如何应用优化计算机,通过人机会话,完成炉料校核单的计算工作以及配料的优化,介绍与配料布料相关联的煤气曲线优化问题。

当高炉炉温发生趋势性向热或向凉的变化时,当炉渣碱度偏离合理的范围时,当入炉原燃料的成分发生明显变化时,以及炉况顺行发生某些重要变化时,高炉工长都要重新进行配料计算,改变某些配料布料参数,以保持炉温和炉况的平稳发展。

以往工长进行配料计算是按照炉料校核单的栏目,使用计算器手工逐项进行计算与汇总。因此,计算时间长,调整速度慢。在优化机成为工长的生产工具之后,配料计算的自动化要求也就自然提了出来。

应用优化机进行配料计算有3种计算方案可供选择。

#### 3.2.1.1 按照料批重进行配料计算

第一种配料计算方法是常用的从料批重出发进行的配料计算。工长只要输入计划的烧结矿批重、球团矿批重、生矿批重和焦批重等数据,计算机就能够根据原燃料数据表中的化验成分数据,按照“炉料校核单”格式自动计算出各矿种的 TFe、CaO、SiO<sub>2</sub>、S,汇总出工长所关心的料批重、各种矿的配比、熟料比、焦炭负荷、配料焦比、配料渣碱度、炉料硫负荷、进入生铁的硅量、每批料和每吨料的出铁量等参数。这是工长估计每炉铁理论铁量的基础。

#### 3.2.1.2 按照配比进行配料计算

第二种配料计算方法是按照各种矿的配比进行配料计算。工长只要输入计划料批重与焦批重,输入各种入炉矿的配比,计算机就能够根据原燃料数据表中的化验成分,按照“炉料校核单”格式,计算出工长关心的配料结果数据:熟料比、配料焦比、配料渣碱度、炉料硫负荷、进入生铁的硅量以及每批料、每吨料的出铁量,以便估算每炉铁的理论出铁量。

#### 3.2.1.3 按照配料碱度与焦炭负荷进行配料计算

第三种配料计算方法实质是配料的优化计算。输入计划的料批重和熟料比,输入焦炭负荷与配料碱度的合理范围,计算机将根据原燃料数据表中的化验成分数据自动求解出合适的烧结矿配比、球团矿配比、生矿配比、烧结矿批重、球团矿批重、生矿批重,以及工长配料计算中所关心的配料结果数据:配料焦比、配料渣碱度、炉料硫负荷、进入生铁的硅量以及每批料、每吨料的出铁量。

这样,应用计算机完成炉料校核单的计算,比工长根据自己经验手工调整得到所需要的配料方案要快得多。如果工长对所得到的配料结果不满意,只要稍加调整,计算机立即又计算出新的配料结果,从而很快确定最佳配料方案。计算机优化

配料不仅大大提高了工作效率,而且不会发生由人为疏忽造成的计算错误。这样,从配料开始工长就为高炉的优化操作打下了良好的基础。

配料布料的变化必然引起煤气曲线的变化。所谓煤气曲线优化是指对输入的煤气采样数据除了进行常规计算,画出煤气曲线图外,计算机还能够进一步根据不同的时间要求汇总出该时间范围的煤气曲线,进行对比,为工艺分析提供数量化依据。另一方面,按照炉况等级水平分类统计汇总煤气曲线,得到“最佳利用系数煤气曲线”和“最差利用系数煤气曲线”进行比较,从而确定高炉的“最佳煤气曲线”形态,为布料的优化提供依据。

在【优化】总菜单下,单击【2 配料布料】前的【+】号展开子菜单,包括:【2.1 炉料校核单】,【2.2 煤气曲线优化】,然后双击子菜单,即可进入相应的程序模块。

### 3.2.2 炉料校核单的计算

双击【2.1 炉料校核单】,进入炉料校核单界面,如图 3-5 所示。

图 3-5 炉料配料校核单

【炉料配料校核单】分为上、下两部分。上半部是理论碱度、负荷、配比、熟料比等配料控制参数;下半部则是不同入炉料的成分分类计算汇总,以及工艺上关心的实际配料结果,如焦比、出铁量、硫负荷、进入生铁的硅等参数。因此,炉料配料校核单把炼铁工艺要求工长计算的各种配料参数全部完整地开列出来了。

当工长需要进行变料计算时,单击工具栏中的【计算】钮,屏幕即显示计算方法选择的对话框如图 3-6 所示。

单击3种计算方法前面的标识符,选择一种计算方法,然后单击【确定】钮,屏幕就会显示不同的输入界面,进入不同的计算程序。

如选择计算方法(1),则输入界面如图3-7。输入相应数据,确认进入生铁硅计算公式中的系数,单击【确定】钮,则一份新的【炉料配料校核单】(图3-5)就计算出来了。

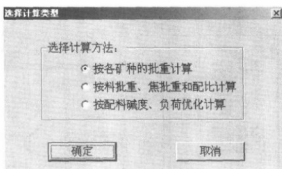


图 3-6 计算方法选择对话框

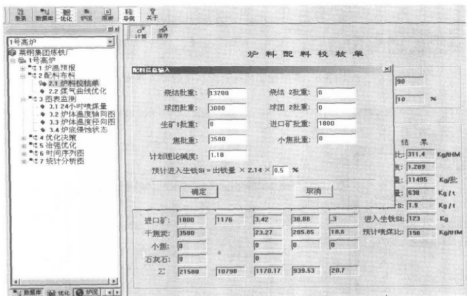


图 3-7 按照料批重计算配料单的输入界面

如选择计算方法(2),则输入界面如图3-8。输入相应数据,确认进入生铁硅计算公式中的系数,单击【确定】钮,则一份新的【炉料配料校核单】(图3-5)就计算出来了。

如选择计算方法(3),则输入界面如图3-9。输入相应数据,确认进入生铁硅计算公式中的系数,单击【确定】钮,则一份新的【炉料配料校核单】(图3-5)就计算出来了。

以上3种计算方法输入界面尽管不同,但最终都得到图3-5的炉料配料校核单供工长检查。配料的结果如果不满意,可以选择新的计算方法再算一次。这样,



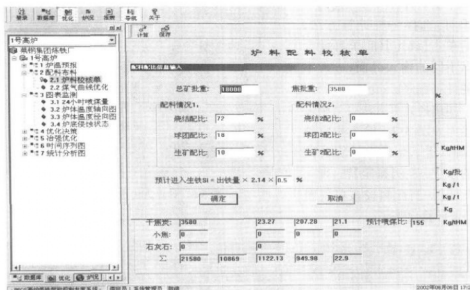


图 3-8 按照配矿比计算配料单的输入界面

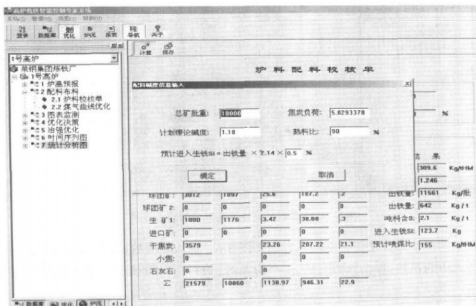


图 3-9 按照配料碱度与负荷进行优化配料的输入界面

计算 10 秒钟即可完成原来 30 分钟才能完成的任务,大大提高了工长的工作效率。

如果配料校核单的计算结果满足工长的要求,工长决定采用该配料方案交槽下称量系统执行,并从某一批开始变料,那么单击工具栏上的【保存】钮,此时屏幕

出现【保存配料结果】对话框。输入保存的【日期】和【当日变更批次】。单击【确定】钮,那么该配料方案就成为这一天从这一批次开始的新配料方案,并已保存到数据库的变料表中,成为“专家系统”其他工艺计算的依据。

### 3.2.3 煤气曲线优化

在【2 配料布料】子菜单下,双击【2.2 煤气曲线优化】,即进入煤气曲线优化程序。在回答所查询的开始时间与结束时间后,屏幕显示如图 3-10 所示的日煤气曲线图。

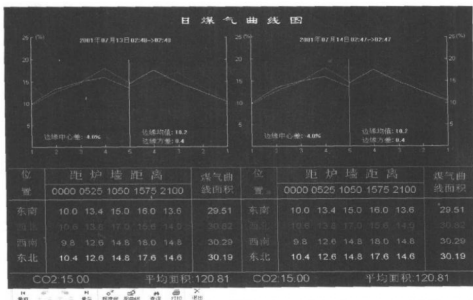


图 3-10 煤气曲线优化图

单击【查询】钮,屏幕显示设定时间对话框。输入所关心的煤气曲线的时间范围,单击【周曲线】,则屏幕显示一周的煤气曲线平均值。单击【标准线】则显示历史上确定的最佳煤气曲线。

煤气曲线优化分析可以作多种灵活应用,例如:可以用于每周的煤气曲线变化分析;也可以用于不同时间不同配料装料方案下煤气曲线状态的对比分析。从而找到高炉最佳生产状态下的优化煤气曲线,以及所对应的配料装料方案、送风制度等。

## 3.3 图表监测

图表监测与其他描述高炉过程参数变化的图像相比,不同点主要在于它是软件仪表的方式整体地反映参数的状态和监测高炉的温度场。

在【优化】总菜单下,单击【3 图表监测】前的【+】号,展开子菜单,包括:【3.1 24

小时喷煤量],[3.2 高炉温度场轴向图],[3.3 高炉温度场径向图]和[3.4 炉底侵蚀状态]。

### 3.3.1 24 小时喷煤速率与喷煤量监测图

在[3 图表监测]菜单下双击[3.1 24 小时喷煤量],则屏幕即显示如图 3-11 的 24 小时的喷煤速率与喷煤量监测图。

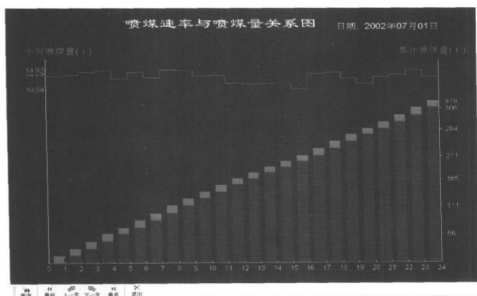


图 3-11 喷煤速率与喷煤量监测图

图中上方的曲线为喷煤速率曲线,其单位为  $t/h$ ,即小时喷煤量曲线。它是按照左边的纵坐标衡量的。而每 1h 的直方图为截至该小时的喷煤量累计值,单位为  $t$ ,它是按照右边的纵坐标衡量的。最后一个直方图的数值即是一天的喷煤总量。

由图 3-11,可以直观地分析每天喷煤的总体状态。单击工具栏的【查询】钮,输入查询的时间,即可得到该天的喷煤曲线图。而查询邻近日期的喷煤情况,只需单击【上一天】或【下一天】即可看到所要查询的喷煤曲线。

### 3.3.2 炉体温度场轴向图

在[3 图表监测]菜单下双击[3.2 炉体温度场轴向图],屏幕即显示图 3-12 炉体温度场轴向图。它用于分析炉体温度场的整体状态,以此监控和诊断冷却壁和炉墙的设备状态。

高炉炉体温度场反映高炉炉内化学反应条件的变化。实践证明,高炉炉体温度场的变化的整体性分析,对于高炉的精细化操作具有指导意义。例如:在济钢的应用中,利用温度场整体分析,解决了多年的烧风口难题;又如,应用温度场的整体分析找到既强化冶炼,又能够保护炉壁的布料制度等等。

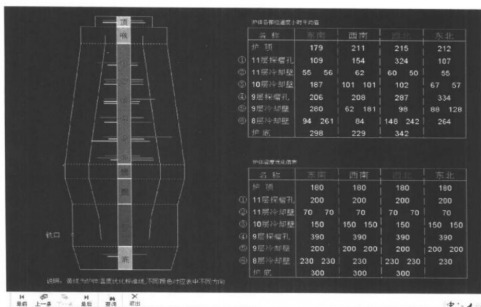


图 3-12 炉体温度场轴向图

如何应用炉体温度场轴向图分析高炉的故障？首先确定故障发生的特定时间和可能征兆，从工艺角度考虑炉体温度场理应发生了什么；然后单击【查询】钮，输入特定时间，屏幕显示该时间的温度场轴向图。该图的每一层都有4~6个检测点，用不同颜色线表示不同的方向，线的长短则反映温度的高低。若线条长短不一，如果不是检测点的热电偶出问题，则是炉内温度场不均匀。呈高炉形状的黄色线是规范化的标准温度。如果代表温度的线条伸出标准线，则是温度过高；反之，则温度过低。两者都是不正常的情况。

通过连续单击【上一条】、【下一条】反复检查炉体温度场轴向图在故障发生时间之前究竟发生了什么异常情况。经过若干次分析，就能够完全把握发生故障的前兆信息。从而找出避免故障征兆的办法，也就能避免故障的再次发生。

### 3.3.3 炉体温度场径向图

在【3图表监测】菜单下双击【3.3 炉体温度场径向图】，屏幕即显示图 3-13 炉体温度场径向图。它与炉体温度场轴向图一起从不同角度分析炉体温度场的整体状态，诊断高炉的故障征兆。

使用炉体温度场轴向图基本上可确定高炉故障发生所对应的高度部位，即在高炉的高度方向上确定故障的对应部位。为了进一步分析高炉温度场在圆周的各个方向究竟有什么差别，则需要细致地分析炉体温度场径向图。如果各个方向上的温度场是均匀的，那么代表温度高低的彩色半径应当是对称的。如果温度线长短不一致，而且不是因为热电偶本身造成的，那么说明高炉温度在该层次上分布是

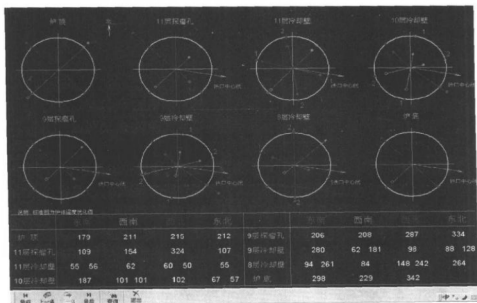


图 3-13 炉体温度场径向图

不好的,局部炉况是不好的。同样在故障发生的时间前后,连续单击图 3-13 中的【上一条】、【下一条】,我们很快就能细致分析出故障所对应的温度场在哪个方向上出了问题。

### 3.3.4 炉底侵蚀状态图

对炉底侵蚀状态的预测与报警,是保证高炉安全生产的必要条件。对炉底侵蚀状态的分析与预测有两条途径:一是通过炉缸、炉底上部、中部、下部各点热电偶温度的时间序列曲线的斜率来判断;二是通过各部位热电偶的状态进行热传导方程计算,从而推断炉缸底部的侵蚀状况。对炉底侵蚀状况的智能化推断,也可以帮助我们更好地把握炉缸热状态,对炉温的发展作出正确的判断。

由于炉缸、炉底检测点的温度变化是十分缓慢的,因此在以小时为单位的时间序列图下几乎看不出变化状态。然而,在进行数据压缩计算后,我们以每班(8 小时)的平均温度为一个数据点,那么,一个月的数据汇总大约有 90 个点。因此,整幅画面可以以月为单位,跨年度地观察、检查炉缸、炉底各检测点的温度变化情况。以一年数据压缩的结果分析,对于维护炉缸、炉底的安全具有重要的参考价值。对炉温的发展趋势判断也具有参考价值。

在【3 图表监测】菜单下双击【3.4 炉底侵蚀状态】,屏幕显示炉底各部位温度的大尺度时间序列图,如图 3-14 所示。

通过炉底的东南—西南—西北 3 个检测点大尺度时间序列图的温度变动情况分析,我们得到以下推断:

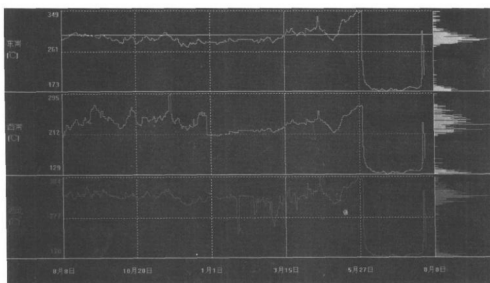


图 3-14 炉底下部 3 点大尺度时间序列图

(1) 经过几年运行,在 2002 年 3 月份以前,炉底温度总体运行在  $235 \sim 328^{\circ}\text{C}$  较高的温度上。特别是西北方向,达到  $328^{\circ}\text{C}$ 。因此,有必要采取措施降低炉底温度;

(2) 2002 年 3 月以后,炉底 3 点温度均有上升趋势,说明炉底侵蚀有加重的趋势。因此必须采取有效措施,以免炉底侵蚀事故的发生;

(3) 在 2002 年 6 月工艺上采取了强化炉底冷却措施之后,炉底 3 点温度的时间序列曲线全下降至  $130 \sim 180^{\circ}\text{C}$ 。这说明强化冷却起到了保护炉底的作用;

(4) 由于炉底温度检测的点数太少,因此无法应用热传导方程来计算、判断炉底各部位地侵蚀速度的差别。但是,从大尺度时间序列图的温度变化可以判断出西北方向炉底侵蚀得更加厉害些。

### 3.3.5 炉喉十字测温图

炉喉十字测温是安装在炉喉部位的温度检测装置。在“智能控制专家系统”中,它是独立运行的实时检测软件仪表,其采样周期为 5s,可以在线判断十字测温是否正常。图 3-15 是炉喉十字测温分析图,简称十字测温图。

#### 3.3.5.1 十字测温图的重要性及其设计思想

炉喉十字测温的 17 点温度分布状态是与高炉布料制度密切联系的。同时,它也是判断炉况顺行状态的一组重要判据。如果布料制度中的焦批、料批等重量、配比不合适,或者矿角、焦角不恰当,都会带来十字测温曲线的异常。同时,如果炉内发生炉瘤、管道、悬料等故障,也会在十字测温曲线上显示出异常征兆。因此,详细分析、正确判断十字测温曲线,对于提高高炉的生产效率,保持高炉的炉况稳定顺

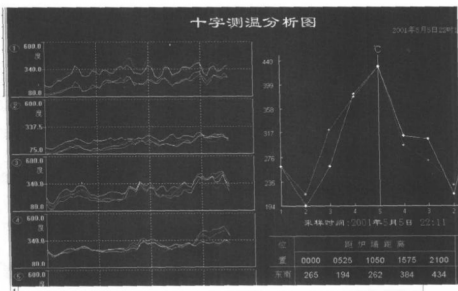


图 3-15 炉喉十字测温分析图

行,是十分重要的。

然而,十字测温毕竟检测点多达 17 点,数据繁多,要把实时检测的炉喉十字的 17 点温度数据简明地、形象化地表达出来,并不容易。这项工作用硬件难以做到,用传统仪表更是无法达到。

本“专家系统”创新设计了炉喉十字测温分析图这个软件仪表,通过鲜明的图像,工长一眼就能够看出炉喉十字温度是否正常;十字测温曲线是否优化。能够正确地判断布料制度是否合理,是否应该调整,能够正确地判断炉况状态是否发生异常和故障,以及故障的方位,并且能够从炉喉十字测温图软件仪表的查询中,得到优化调控方案。

### 3.3.5.2 关于十字测温图的说明

十字测温图包括 3 个组成部分:十字测温曲线图、十字测温数据表和十字测温时间序列图,这是一种复合的在线检测软件仪表。

在屏幕上,图 3-15 的右上半图是十字测温曲线图。它是由炉喉部位十字交叉的 17 个检测点温度数据得到的温度曲线。不同的颜色代表不同的方位:蓝色线为东南方向,红色线为西北方向,绿色线为西南方向,黄色线为东北方向。蓝色线与红色线组成一条“W”形曲线,绿色线与黄色线组成一条“W”形曲线。把它与标准(优化)曲线对比,即可判断十字温度曲线是否正常与优化。从炼铁工艺理论得知:十字测温曲线与炉喉煤气曲线之间有一定的负相关关系。“W”形十字测温曲线对应“M”形炉喉煤气曲线。因此,可由十字测温曲线拟合炉喉煤气曲线。

在屏幕上,图 3-15 的右下半图是十字测温数据表。从十字测温曲线图上看到某点温度不正常后,立即可以从十字测温数据表上查出其数据。不同颜色的数据可以对应颜色的方向上寻找,从而判断导致温度数据异常的管道或炉瘤是在何方向上。

在屏幕上,图 3-15 的左半图是十字测温的 17 点温度的十字测温时间序列图。它把炉喉平面径向上与炉墙距离属同一圆周上的 4 个检测点集中在同一幅时间序列图中,考察时间序列曲线波动的状态。如果同一幅图上的 4 条时间序列曲线的波动是接近的,则说明布料在圆周半径上是接近对称的,那么布料状态是比较好的;反之,如果 4 条时间序列曲线散开,说明布料的累积效果已经造成炉内料柱的温度场失去平衡,应当改变布料制度了。这种情况如继续延续下去,必将导致炉况异常和故障。

十字测温时间序列图和十字测温曲线图是从不同角度对十字温度进行监测的。时间序列图给工长一个整体的时间上连续变化的印象。依靠它能够形成总体判断,从而及时采取措施,克服布料制度上存在的问题。而曲线图给工长的印象是实时的高炉空间位置上完整的判断,它能够发现布料制度在空间位置上存在什么样的问题。因此,两种图示对工长的判断与决策是相辅相成的。

### 3.3.5.3 十字测温图的操作使用

在十字测温图的下方由 11 个功能钮。其功能与操作详细说明如下:

(1)【最前】、【最后】、【上一条】、【下一条】。这 4 个通用功能钮的使用与第一章叙述的通用规则是一致的,不再重复。

(2)【左移】、【右移】。这是移动十字测温时间的功能钮。单击【左移】钮,则画面显示的时间序列图、曲线图和数据表的时间都相应提前,即坐标轴的时间前移。而【右移】钮的功能则相反,单击它则坐标轴的时间后移。这样,我们可以从当前的十字测温图,通过单击【左移】钮,查询到前 1 小时或更早时间的十字测温图。然后,再通过单击【右移】而返回到当前状态。

(3)【标准线】。单击该钮可以在当前的十字测温曲线图上显示一组经过优化计算得到的标准十字测温曲线(虚线)。所谓标准线,就是在高炉满足高产、低耗、优质炉况下的十字测温数据平均值的曲线,也就是优化曲线。通过与优化曲线的对比,改善布料制度,保持高炉的最佳生产状态。

(4)【周曲线】。所谓周曲线,是指对一周的十字测温曲线进行统计汇总,得到的平均值曲线。因为是帮助工长进行一周生产状态总结而设计的,故称为周曲线。它的用途是新的周应该在原来基础上有所改善。

(5)【滤波】。为了更好地考察十字测温时间序列图的波动状态,根据温度场不能突变的原理,我们按照一定的滤波公式,计算出新的温度值,并显示其时间序列图,称为滤波图。滤波图有助于工长正确判断十字测温温度的持续变化。



(6)【查询】。当需要调阅一个月內其他时间的十字测温图时,单击【查询】,输入查询的时间,即可得到该时间段的十字测温图。

(7)【退出】。单击该按钮,即可回到“智能控制专家系统”的其他画面,继续新的操作。

特别说明:在莱钢1号高炉安装炉顶红外成像设备后,工长通过工业电视可以直接监测、观察到无钟布料的效果。这一装置比起炉喉煤气采样和炉喉十字测温更加方便地监控无钟布料的效果。因此,炉喉十字测温装置也就被撤销。

### 3.4 优化决策

#### 3.4.1 优化决策模型原理

##### 3.4.1.1 概述

在【优化】总菜单下单击【4 优化决策】前的【+】号展开子菜单,得到【4.1 系统样本划分】、【4.2 系统优化分析表】、【4.3 系统优化分析图】和【4.4 产量质量优化图】。

依次调用前3个功能块,可以逐步完成寻求工艺参数优化范围的工作。它包括求解炉温 $[Si]-(R)$ 的组合优区,风量 $FQ$ -透气性指数 $FF$ 的组合优区,焦炭负荷 $OPC$ -鼓风动能 $BE$ 的组合优区,利用系数 $Ut$ -焦比 $K$ 的回归关系,利用系数 $Ut$ -冶炼强度 $I$ 的回归关系,焦比 $K$ -冶炼强度 $I$ 的回归关系等数量关系。

【4.4 产量质量优化图】运用二元分布分析方法计算求解高炉利用系数与炉温 $[Si]$ -渣碱度 $(R)$ 之间的数量关系,铁水 $[S]$ 与炉温 $[Si]$ -渣碱度 $(R)$ 之间的数量关系,炉渣碱度与配料碱度之间的相关关系,高炉利用系数与焦比的回归折线以及利用系数与冶炼强度之间的回归折线。

显然,以上两组计算对于定量把握高炉冶炼过程的优化决策具有重要的指导意义。

“智能控制专家系统”的主要功能之一是对高炉生产过程进行系统优化,定量地计算出高炉获得提高利用系数、降低焦比、确保铁水质量的优化规律和主要参数控制范围,为领导的优化决策提供依据。

本节介绍【优化决策】功能块的使用。每一功能块将详细介绍其操作步骤和计算结果。当然,也对其原理进行简要说明,同时结合高炉的生产数据说明优化决策的过程与结论。

##### 3.4.1.2 优化决策的数学模型原理

高炉生产过程是一个连续进行的变动十分复杂的高温物理化学过程。由于生产过程参数的非线性、延迟性和随机性、大惯性波动,我们考察高炉生产过程的规律不能简单地一炉一炉单独考察,而必须按照高炉炉温波动的阶段性变化来整体分析。这样,炉温的平稳发展过程,或炉温的上升、下降过程,或炉温的剧烈波动过

程,就成为我们划分生产样本的依据。通过长期研究总结,我们选择了小时出铁量  $Feh$ -( $Si$ )-( $S$ )-( $R$ )这 4 项参数的时间序列图作为考察高炉生产过程复杂变动的基准参数,作为划分生产样本的依据。

按照四元时间序列图划分生产样本的原则是:首先考察小时出铁量  $Feh$ ,即铁元素的还原速率的时间序列,同时看炉温  $[Si]$  的发展阶段是否与  $Feh$  有对应关联之处;然后再看铁水质量指标  $[S]$  的发展阶段是否发生矛盾。对  $[S]$  的考察需要与渣碱度 ( $R$ ) 做更深入的联合判断,这是因为渣碱度与  $[S]$  密切相关。在正常渣碱度范围内,对  $[S]$  的个别波动情况将作为异常炉况的征兆进行预测判断。

根据以上划分样本原则,我们可以把每个月的数据时间序列图划分成不超过 14 个样本。每一个样本所包含的炉数不少于 12 炉。在时间序列图上,各样本依时间顺序自动地编号为①,②,……,⑭号样本。

由于每个样本所包含的炉数不同,即数据频率不同,对这样的样本进行统计分析,我们就称为变频统计。变频统计的样本特征值包括数据量  $n$ 、均值  $\mu$ 、方差  $\sigma$ 、最大值  $Max$  和最小值  $Min$ 。通过比较不同样本的这 5 项特征值以及样本之间的差异显著性检验,我们就能够科学地优选出工艺参数的最佳范围。

### 3.4.2 系统样本划分

在【优化决策】菜单下双击【4.1 系统样本划分】,屏幕显示选择时间段对话框。输入需要分析的时间范围,一般选择每月 1 日为起始时间,而默认月末为结束时间。单击【确定】钮,稍候,屏幕显示四元时间序列图。如果该月份的数据已经划分过样本,那么屏幕上将同时显示样本序号和样本分割线。图 3-16 就是已经划分好样本的 2002 年 3 月的时间序列图。

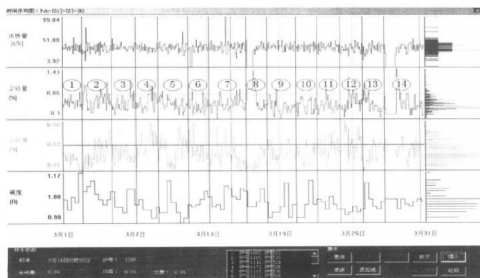


图 3-16 在四元时间序列图上划分样本

按下【Ctrl】键同时单击鼠标右键,屏幕上的样本分割线全部消失。于是,可以重新进行划分样本工作。如果需要再一次观察原来的样本线,则单击屏幕右下方的【查询】钮,确认所选择的时间段,立即可以重新显示原来的样本划分情况。

在划分样本时,首先单击鼠标左键,则屏幕上显示出十字光标。十字光标用于划分样本的定位。此时,光标所在参数的时间序列的特征数据就会在屏幕左下方的【样本参数】栏显示出来。它包括时间、炉号、参数名、均值、方差。这些特征值帮助用户查阅数据、划分样本十分方便。

用十字光标定位后,左手按【Ctrl】键,右手单击鼠标左键,则在屏幕上就会留下一条垂直线和一个样本编号。垂直线即样本分割线。依次进行,则可以完成一个月的14个样本的划分工作。需要注意的是:计算机默认每一个样本需包含12炉以上数据。因此,如果划分样本时数据容量不够12炉,则计算机不接受所划分的样本线。用户必需增加样本的炉数,才能完成划分样本的工作。同时,因为一页宽行打印纸只能打印14个样本的数据,因此计算机默认每个月数据至多只能划分出14个样本,否则计算机无法打印。

当用户对所划分的某条样本线不满意时,可以使用十字光标定位在该条样本线上,此时黄色的样本线变成深蓝色,那么左手按住【Ctrl】键,右手单击鼠标左键,即可取消该条样本线。如果希望全部取消已经划分的样本线,那么左手按住【Ctrl】键,右手单击鼠标右键,即可完成消除工作。

为了帮助用户更方便地划分样本,在屏幕的右下方提供了一组按钮。这些按钮是:

(1)【保存样本】。单击该钮,系统即进行样本空间模型计算,计算各样本的特征值,即计算系统优化分析表。这时,如果在数据库中已经有该时间段的系统优化分析表数据,那么计算机会自动提示:“? 数据库内已有该时段的样本,是否更新?”。而下面的回答供用户选择:【是(Y);否(N)】。如果回答是,则新的样本划分结果将覆盖旧的数据,并且保存在数据库中;如果回答否,则人工智能数据库继续保存原来的样本数据。

(2)【查询】。单击该钮,用户可查阅某一时间段中样本划分的情况。此时屏幕上显示选择时间段对话框:起始时间 \* \* \* \* 年 \* \* 月 \* \* 日,结束时间 \* \* \* \* 年 \* \* 月 \* \* 日。如果在此时间段已经划分过样本,屏幕的时间序列图上会自动出现样本分割线;否则屏幕只出现该段时间的序列图。

(3)【放大】与【缩小】。这是一对功能互逆的按钮。【放大】钮把时间序列图尺度放大,便于详细地考察时间序列图的变化。【缩小】钮则把时间序列图尺度缩小,便于在一个屏幕内考察时间序列图的整体发展趋势。设置【放大】与【缩小】完全是出于划分样本方便,在【放大】状态下,修改样本划分线位置比较准确方便。

(4)【滤波】。单击【滤波】时,四元时间序列图的每一条线都按照给定的滤波

公式重新计算,然后形成新的时间序列图显示出来。滤波时间序列图与原时间序列图相比,图形平稳了,更便于划分样本。在滤波时间序列图下,【滤波】钮变换名称为【复原】钮。按下【复原】钮,滤波时间序列图就会复原为原来的时间序列图。

(5)【质控线】。即质量控制线。根据用户的需要,为了从全面质量管理角度把握炉温的发展,我们建立了某一个时间段数据的均值线  $L$ 、上控制线  $SL$  和下控制线  $LL$ 。通过观察 3 条控制线的位置,能够对时间序列数据的整体波动状态进行判断。线  $L$  的位置为均值  $L = \mu$ ,上控制线  $SL$  位置为  $SL = \mu + \sigma$ ,下控制线  $LL$  位置为  $LL = \mu - \sigma$ ,其中  $\sigma$  为该时间段数据的标准差。

另外,我们既用时间序列图观察数据的微观变动状况,同时也在时间序列图的右端建立数据的分布图,以观察数据的整体分布情况。移动鼠标的指示箭头到数据分布图的底线上,鼠标的单向箭头变成双向箭头。此时按住鼠标的左键,即可拉动数据分布图的底线,向左移动则分布图变大,向右移动则分布图变小。

在完成时间序列图划分样本并且单击【保存样本】之后,就标志着已经完成了系统优化分析表的计算。此时可以单击【返回】钮,返回到【优化决策】子菜单下。

### 3.4.3 系统优化分析表的调阅与打印

在【优化决策】子菜单下双击【4.2 系统优化分析表】,即可看到一份系统优化分析表。一般地说,该表是用户刚刚完成计算的那个时间段的系统优化分析表。如果用户进行了多批样本处理与计算,需要单击系统优化分析表左上方的【查询】钮,在选择时间段对话框上输入查询的时间,才能够得到所要查阅的系统优化分析表。

系统优化分析表最多可包含 14 个样本向量,每一样本向量包含 36 项工艺参数。因此,要查阅参数之间的相互关联和数量对应关系很不容易。为了帮助用户方便地使用系统优化分析表查找数据关联规律,建立了【设置】按钮。单击该钮,屏幕上出现对话框如图 3-17 所示。

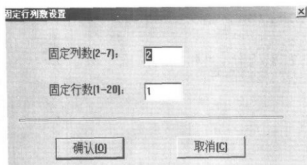


图 3-17 系统优化分析表行、列选择对话框

当完成选择并单击【确认】钮后,系统优化分析表就成为部分栏目固定、部分栏

目活动的结构。持续单击表下边或表右边的【移动钮】，就能够把可移动的数据行或数据列移到需要比较的数据行或数据列旁边进行比较。此项设置方便于样本对比和参数对比。

系统优化分析表数据众多，要分析规律，有时需要把系统优化分析表打印出来。单击左上角的【报表】钮，即可进入系统优化分析表的【预览】与【打印】功能块。单击【预览】钮后，屏幕按 67% 的比例显示整张系统优化分析表。如果想详细考察某一部分的参数，可选择按 100% 比例显示。

如果需要打印，那么单击【打印机】钮，屏幕上显示打印选择框。系统打印机是 Epson LQ-1600K III。【打印范围】选择 [ALL] 或选择 [1] 至 [n] 页；打印份数 [m] 份由用户自己选择。

上篇表 4-1 是计算得到的某高炉 2001 年 1 月份的 14 个样本的系统优化分析表的均值表。完成打印后，单击右上角的【退出】，则返回到【4 优化决策】二级子菜单画面。

### 3.4.4 系统优化分析图总结生产优化规律

在【4 优化决策】子菜单下，双击【4.3 系统优化分析图】，即可进入选择时间段的对话框。在系统优化分析图的时间选择中，可以选择 1 个月的 10 多个样本点细致地观察规律，也可以选择 3 个月的几十个样本点来观察变化规律。时间选择的原则是样本点不能太多，太多了重复在一起，无法看清规律；同时，样本点也不能太少，太少则无法确定规律。一般地说用一个季度 3 个月的样本点数据来说明规律是比较有说服力的。

在考察、分析系统优化分析图中，以下功能钮可用于各种图形的组合。

(1) 【查询】。可以查看新时段中的系统优化规律是否与老时间段一致。通过比较能够总结规律，发现存在的问题。

(2) 【切换图形】。单击该钮屏幕上显示可供选择的 6 类优化图子菜单，如图 3-18 所示。

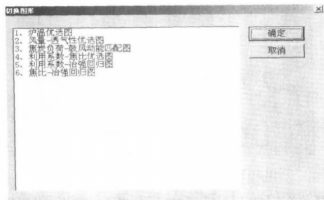


图 3-18 6 类优化图选择对话框

单击其中某一个图,该图则成为 6 幅系统优化分析图中的第一幅优化图。如图 3-19 所示。因此,【切换图形】功能钮的作用就是改变图形出现的先后顺序。例如,在双幅画面下,选中【1 炉温优选图】,则它就是第 1 幅优化图,而原来的第 1 幅图则退居为第 2 幅。

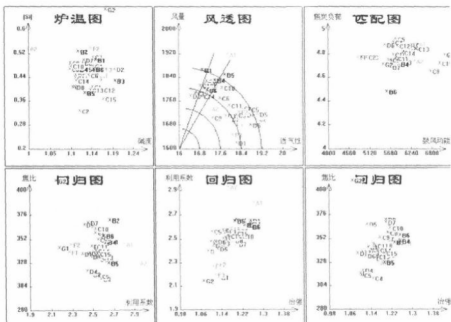


图 3-19 6 幅合成的系统优化分析图

(图中[Si]的单位为%;风量的单位为  $\text{m}^3/\text{min}$ ;鼓风动能的单位为 J/s;利用系数的单位为  $\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ;焦比的单位为  $\text{kg}/\text{t}$ ;冶炼的单位为  $\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ )

(3)【改变布局】。用于选择画面的布局。单击该按钮则屏幕出现选择对话框,如图 3-20 所示。

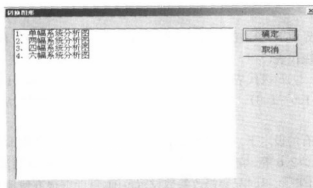


图 3-20 分析图选择对话框

选择其中一种,则计算机界面显示这种幅数优化图。单幅、双幅画面便于详细观察优化规律,而4幅、6幅的优化图,则便于总体上总结比较系统优化规律。

为了使建立在样本空间模型基础上的6幅系统优化分析图更好地反映生产过程优化规律,需要对高炉的利用系数划分等级。不同高炉在不同生产阶段所划分的等级不同。通过划分等级能够清晰地看到高炉生产的潜力所在和发展的方向。

划分利用系数等级的工作是在“智能控制专家系统”初始界面下,单击屏幕左上方的菜单条中的【管理】钮,出现子菜单界面。双击其中【参数设定】(Ctrl+Z)功能块,进入【参数设定】清单。清单包含利用系数设定以及生铁级别、生铁牌号、原料名称、装料制度等11种参数设定。进入每一种参数设定均有【添加】、【修改】和【关闭】3种按钮。利用系数设定的对话框如图3-21所示。

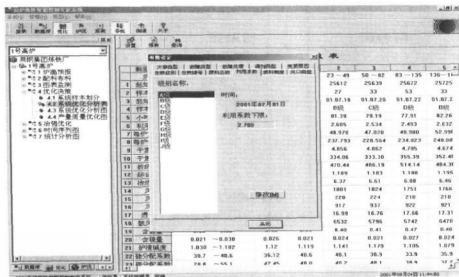


图 3-21 设置利用系数等级的对话框

在图3-21界面下,单击【添加】钮,则可新增参数的设定范围。例如:原来利用系数设定为:B级代表(2.4~2.5),C级代表(2.3~2.4),D级代表(2.2~2.3),E级代表(2.1~2.2),F级代表(2.0~2.1),G级代表(1.9~2.0),H级代表(1.8~1.9),I级代表(1.6~1.8),J级代表(1.4~1.6)等。单击【添加】钮后,可添加A级代表  $U_t > 2.5$ 。

当然,在已有的设定下,单击【修改】钮,也可以对每一设定范围进行修改。如将A级改为  $U_t > 2.6$  等。随着生产潜力的发挥,原来低水平级别消失了,更高水平的记录创造出来了,这时只要修改参数设定范围,就能够很方便地重新显示系统优化规律。由于彩色图的层次分明,这种设定等级观察规律是十分方便的。其原

理是数理统计中的聚类分析模型。

由图 3-22 炉温—渣碱度优选图, 查询高等级利用系数在  $[\text{Si}]-(\text{R})$  双因素影响下的聚类优区, 可知高利用系数的优区是  $\Omega = \{[\text{Si}] \in (0.45, 0.49)\} \cdot \text{AND} \cdot \{(\text{R}) \in (1.07, 1.10)\}$ 。

由图 3-23 风量—透气性优选图, 查询利用系数的优区, 得到风量与透气性需控制在一定的比例范围。它反映了炉内的反应氛围。图中利用系数较低生产样本点的聚类表明: 风量不足而透气性过大是得不到高利用系数的。

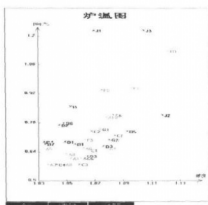


图 3-22 炉温优选图  
(图中  $[\text{Si}]$  的单位为 %)

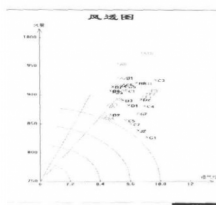


图 3-23 风量-透气性优选图  
(图中风量的单位为  $\text{m}^3/\text{min}$ )

图 3-24 焦炭负荷与鼓风动能匹配图反映了高利用系数生产样本需要达到的焦炭负荷水平, 需要达到的鼓风动能水平。

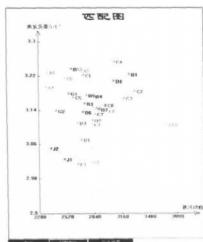


图 3-24 焦炭负荷与鼓风动能匹配图  
(图中鼓风动能的单位为  $\text{J/s}$ ; 焦炭负荷单位为  $\text{t/t}$ )

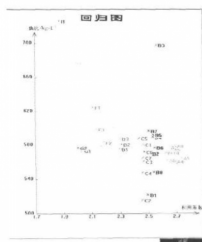


图 3-25 利用系数与焦比回归图  
(图中利用系数单位为  $\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ ; 焦比单位为  $\text{kg/t}$ )



图 3-25 反映了利用系数与焦比之间的负相关关系。由此,在一般情况下只须搞清利用系数的变动规律,然后根据他们的负相关关系来推导焦比的变动规律。

图 3-26 利用系数与冶炼强度回归图反映了利用系数随冶炼强度的升高而升高,即通过强化冶炼可以提高利用系数。然而,根据炼铁工艺理论随着冶炼强度的继续提高,焦比将会升高。因此,我们需要建立图 3-27 来分析焦比与冶炼强度的回归关系。

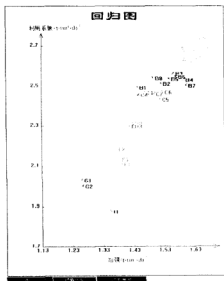


图 3-26 利用系数与冶炼强度回归图

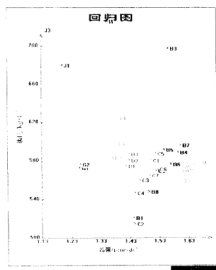


图 3-27 焦比与冶炼强度回归图

图 3-27 焦比与冶炼强度回归图反映随着冶炼强度的升高焦比下降,当冶炼强度超过一定限度时冶炼强度继续提高将带来焦比上升。

综合以上对图 3-26 至图 3-27 的分析,我们完全可以根据企业的资源规划要求,对高炉冶炼强度究竟控制在什么范围,能够达到企业最佳的经济效益,而作出优化决策。

### 3.4.5 产量质量优化分析图

#### 3.4.5.1 产量质量优化分析图的应用原理

系统优化分析图是建立在变频统计和样本空间模型基础上的优化分析,而产量质量优化分析图则是建立在二元分布图基础上的优化分析。

产量质量优化分析图功能块包括 3 类参数统计计算和 8 种类型优化分析图。其一是在炉温[Si]与渣碱度(R)平面上建立利用系数  $U_t$  的二元分布分析;其二是在[Si]-(R)平面上建立铁水硫含量[S]的二元分布分析;其三是在焦比-冶强平面上建立利用系数  $U_t$  的二元分布分析。在这 3 种二元分布计算的基础上,建立了 8 类相关折线图来研究高炉利用系数(即产量)与[S](即铁水质量)的变化规律和及

其优化控制。同时,通过配料碱度与渣碱度的相关分析,从配料开始就对炉渣碱度的发展进行优化控制。

### 3.4.5.2 从二元分布图看数据分布规律

在【优化决策】子菜单下,双击【4.4 产量质量优化图】,屏幕上显示选择时间段对话框。输入分析的起始时间和结束时间,单击【确定】钮,即进入二元分析图。

产量质量优化图分析的时间段可以是一个月,也可以是3个月。不过计算的时间将随着所选时间段的延长而增加。由于涉及的数量关系规律多达8个回归公式,所以等待计算结果需要数十秒时间。

图3-28是[Si]与(R)二元坐标下,按照等步长分割坐标平面为 $10 \times 10 = 100$ 个格子,所选择时间段的全部数据分布在这100个格子中,形成利用系数 $U_t$ 的二元分布。从1号高炉2001年7~9月3个月1068炉生产数据看,[Si]的分布形成以 $[Si] \in [0.52, 0.55]$ 为众数的分布。而炉渣碱度则形成以 $(R) \in [1.13, 1.16]$ 为中心的近似正态分布。

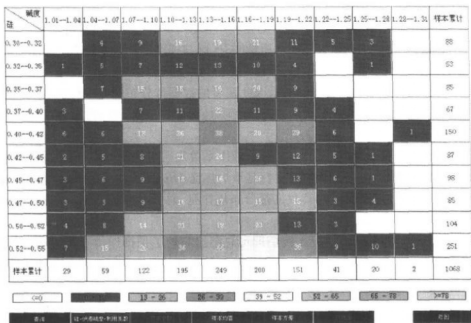


图3-28 [Si]-(R)平面上利用系数 $U_t$ 的数据量二元分布

为了便于观察数据量分布的状况,我们设置了8种颜色代表不同的数据量范围:

黑色:无数据;灰色:1~13;绿色:14~26;粉红色:27~39;蓝色:40~52;红色:53~65;棕色:66~78;紫色:79炉以上。在这样的着色下,在屏幕上我们很容易通过观察颜色的分布看到900多炉数据在二元平面上集中分布的地方。

双击【4.4 产量质量优化图】,系统默认的设置是直接进入利用系数  $U_t$  的二元分布图。如果要进入其他二元分布图,则可以通过二元分布图下方的功能钮进行选择。双击下方的【硅-炉渣碱度-利用系数】功能钮,屏幕显示如图 3-29。

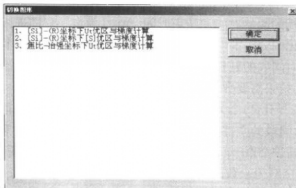


图 3-29 不同二元分布分析选择对话框

第 1 项选择为系统默认。进入的是利用系数  $U_t$  的二元分布分析。

选择【2. [Si]-(R)坐标下铁水质量[S]优区与梯度计算】,则进入[S]的二元分布分析。1068 炉数据分散在 100 个格子中,形成[S]的二元分布。由于[S]与利用系数  $U_t$  的坐标平面同为[Si]-(R),因此两者的数据量分布图是一样的,数据量多少的颜色设定也是一样的,但是单击【样本均值】和【样本方差】钮后,数值就不同了。

在选择【3. 焦比-冶炼强度双坐标下利用系数优区与梯度计算】的情况下,进入了另一类二元分布分析。这时横坐标是单炉焦比  $Djb$ ,纵坐标是冶炼强度  $DZi$ ,同样是  $10 \times 10 = 100$  个格子。其数据量分布规律是:总共 658 炉数据散布在各个格子中,没有特别高的众数。

考察了数据量分布规律后,我们即可总结出高炉工长操作指导思想和目前的操作趋势。而样本均值与样本方差的二元分布分析图则使我们能够充分地说明在现行的指导思想与操作趋势下的生产成效。

单击二元分布图下方的【样本均值】与【样本方差】功能钮,我们即可进入利用系数  $U_t$ -[Si]-(R)、[S]-[Si]-(R)与  $U_t$ - $Djb$ - $DZi$  的数值分析。

图 3-30 是利用系数的样本均值二元分布,通过不同的颜色显示,在计算机屏幕上可以看到不同级别利用系数的分布规律。样本均值的颜色区分是灰色:利用系数  $U_t < 1.6$ ;绿色:利用系数  $U_t \in [1.6 \sim 2.0]$ ;粉色:利用系数  $U_t \in [2.0 \sim 2.25]$ ;蓝色:利用系数  $U_t \in [2.25 \sim 2.5]$ ;红色:利用系数  $U_t \in [2.5 \sim 2.75]$ ;棕色:利用系数  $U_t \in [2.75 \sim 3.0]$ ;紫色:利用系数  $U_t \geq 3.0$ 。

在图 3-30 中,我们对样本均值的二元分布图进一步进行了汇总计算。即按纵

碱度 硅	1.01~1.04	1.04~1.07	1.07~1.10	1.10~1.13	1.13~1.16	1.16~1.19	1.19~1.22	1.22~1.25	1.25~1.28	1.28~1.31	均值累计
0.30~0.32		2.163	2.165				2.622	2.784			2.479
0.32~0.35	1.745	1.999	2.732	2.34	2.745	2.575	2.619		2.825		2.499
0.35~0.37			2.525	2.4	2.641						2.616
0.37~0.40				2.519	2.661		2.672	2.741			2.653
0.40~0.42	2.712			2.632		2.679		2.574		2.612	2.614
0.42~0.45	2.708	2.152	2.527	2.582			2.682	2.564			2.54
0.45~0.47	2.772	2.542	2.595		2.69		2.722	2.583	2.705		2.639
0.47~0.50	2.75	2.694	2.696		2.69	2.568	2.751	2.124	2.73		2.542
0.50~0.52	2.181		2.732					2.881			2.982
0.52~0.55		2.665		2.186	2.825				2.882	2.105	2.466
均值累计	2.478	2.572	2.548	2.519	2.522	2.434	2.484	2.603	2.332	2.359	2.505

图 3-30 利用系数  $U_t$  样本均值的二元分布

坐标汇总计算和按横坐标汇总计算。其结果是把二元分布分析汇总成一元分布分析。从图 3-30 右方和下方的均值累计可以看到数据最高值的变动范围。例如  $[\text{Si}] \in [0.47, 0.50]$  时利用系数可提高到 2.56。而当  $(R) \in [1.04, 1.07]$  时, 利用系数可达到 2.57 等。

对比均值后, 考虑到生产控制的稳定性, 还应该对所选择的  $[\text{Si}]$  与  $(R)$  范围, 考察其方差的大小, 即指标的波动是否符合生产的要求。在屏幕上可见, 方差的大小用不同颜色分别标出。

同样, 可以得到在  $[\text{Si}]$ -( $R$ ) 平面上  $[\text{S}]$  的样本均值的二元分布。从均值累计中  $[\text{S}]$  的数值可以看到: 随着硅的上升,  $[\text{S}]$  逐步下降; 并且随着碱度 ( $R$ ) 的上升,  $[\text{S}]$  也逐步下降。而从方差的稳定性看, 高硅情况并没有比其他情况更好些, 高碱度情况也没有比其他状态更好些。因此可以说对产量质量的优化决策主要看均值分布的优化规律, 图略。

图 3-31 是焦比-冶强平面上利用系数的样本均值的二元分布。在屏幕上可见, 从利用系数的不同颜色带我们很容易总结出在焦比-冶强平面上存在利用系数的等高带。

4 条主要等高带的规律是: 在利用系数的【褐色带】中, 单炉利用系数  $U_t \in 2.75 \sim 3.0$ , 冶强  $DZi \geq 1.17$ , 入炉焦比  $Djb \leq 330$ ; 在利用系数的【红色带】中, 单炉利用系数  $U_t \in 2.5 \sim 2.75$ , 冶强  $DZi \in 1.10 \sim 1.32$ , 入炉焦比  $Djb$  为  $300 \sim 350$ ; 在利用系数的【蓝色带】中, 单炉利用系数  $U_t \in 2.25 \sim 2.5$ , 冶强  $DZi \in 1.10 \sim 1.27$ ,

焦比 炉渣	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	均值累计
1.10~1.12	2.020					2.176	2.14	2.173	2.129	1.959	2.216
1.12~1.15	2.416					2.173		2.673	1.914	2.104	2.187
1.15~1.17	2.718	2.403	2.569					2.176	2.069	2.037	2.297
1.17~1.20	2.856	2.49	2.6	2.64					2.234	2.154	2.307
1.20~1.22	2.693	2.779	2.607	2.584						2.18	2.296
1.22~1.25	2.858	2.500	2.378	2.580	2.537						2.296
1.25~1.27	2.843	2.842	2.999	2.717	2.897	2.642					2.43
1.27~1.30	2.658	2.943		2.886	2.688	2.659				2.106	2.309
1.30~1.32	2.089	2.339	2.227	2.813	2.669	2.649		2.59	2.536	2.507	2.464
1.32~1.35	2.37	2.738	2.946	2.607	2.828	2.940	2.803	2.802	2.760		2.603
均值累计	2.819	2.764	2.63	2.623	2.537	2.508	2.354	2.364	2.337	2.196	2.358

图 3-31 利用系数  $U_t$  在冶强-焦比坐标下的等高带

而入炉焦比  $DJb \in 310 \sim 390$ , 在利用系数的【粉红色带】中, 单炉利用系数  $U_t \in 2.0 \sim 2.25$ , 冶强  $DZi \in 1.10 \sim 1.22$ , 而入炉焦比  $DJb \in 350 \sim 390$ 。

通过以上综合分析, 对于如何协调控制冶强-利用系数-焦比三者之间的关系就有了定量的范围。

### 3.4.5.3 通过折线图分析参数优化规律

#### A 7 个功能钮

在二元分布图的下方, 有 7 个功能钮可以进行功能性选择:【查询】、【样本均值】、【样本方差】、【样本炉数】、【折线图】、【硅-炉渣碱度-利用系数】与【返回】钮。

(1)【查询】。用于给定时间段的查询分析。按下【查询】钮, 屏幕出现选择时间段对话框。输入新的起始时间和结束时间并单击【确定】, 系统将进行新的分析。

(2)【样本均值】、【样本方差】和【样本炉数】钮。用于分析、计算某一时间段的炉数、利用系数均值或方差的二元分布规律。

(3)【硅-炉渣碱度-利用系数】钮。点击该钮则屏幕弹出选择菜单, 3 种计算分析供选择:

- 1)  $[\text{Si}]-(R)$  坐标下利用系数  $U_t$  优区与梯度计算;
- 2)  $[\text{Si}]-(R)$  坐标下  $[S]$  优区与梯度计算;
- 3) 焦比  $DJb$ -冶强  $DZi$  坐标下利用系数  $U_t$  优区与梯度计算。

3 种计算方案与【样本均值】、【样本方差】和【样本炉数】3 个功能钮的功能可以相互交叉。即在每一种计算方案下, 都可以计算样本炉数、均值与方差。

在数据量、均值、方差计算分析的基础上,我们进一步进行折线回归分析。此时单击【折线图】钮,屏幕上出现 8 种折线回归分析选择,如图 3-32 所示。

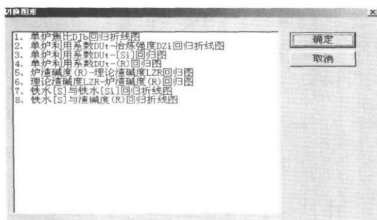


图 3-32 折线回归分析选择对话框

(4) 【返回】钮。退出本模块。

#### B 折线回归图分析

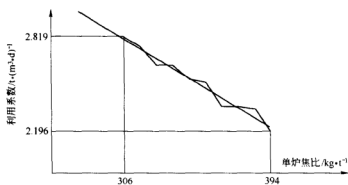
在图 3-32 对话框中选择其中一项,单击【确定】,即可进入该项目的折线回归图。在每一个回归图下仍然有 7 个功能钮,与分布图的功能钮一致。这样,可方便地切换选择用户所关心的分析内容。

在每一个折线回归图中,既可以从折线的复杂变化看到相关参数关联的非线性,又可以从回归直线、回归方程考察相关参数的总体关系。同时,我们在折线图中自动标出折线的最大值、最小值和边界值的位置,便于用户找出冶炼过程参数的转折点,从而确定参数的最优控制范围。在确定最佳点的过程中,需要注意参数的变化梯度。如果变化梯度过大是不利于生产的稳定发展的,此时,最佳决策点并不一定就是目标的最大值点。

图 3-33 是单炉利用系数与单炉焦比的回归折线图。该图反映了在按炉计算前提下,利用系数与焦比的相关性是负相关,并且随着利用系数的升高而焦比下降。

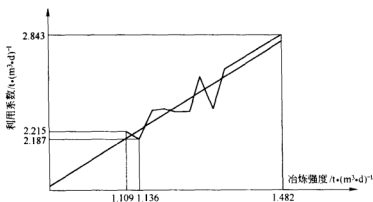
图 3-34 是单炉利用系数-冶炼强度的回归折线图。虽然不同月份利用系数与冶炼强度的关系规律不一样,但是总体上看,利用系数随着冶强的增大而增大,即呈正相关关系。3 个月数据表明,目前综合冶强增大到  $1.42\text{t}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$  时,利用系数可以上升到 2.6。

图 3-35 是单炉利用系数  $DUt$ -[Si]的折线回归图,十分明显,利用系数  $DUt$  与 [Si]之间呈复杂的非线性关系。[Si]过高或过低,利用系数都低;当 [Si]=0.48 时,利用系数达到最大值 2.56。而另一个极值点是 [Si]=0.40。因此优选 [Si]的范围



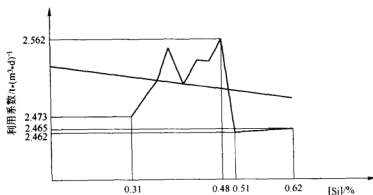
$$DUr - DJb \text{ 回归方程: } DUr = (-0.0066) \times DJb + 4.8106$$

图 3-33 单炉利用系数-焦比回归图



$$DUr - DZi \text{ 回归方程: } DUr = (1.2379) \times DZi + 0.8171$$

图 3-34 单炉利用系数-冶炼强度回归图



$$DUr - [Si] \text{ 回归方程: } DUr = (-0.0795) \times [Si] + 2.5473$$

图 3-35 单炉利用系数  $DUr$ - $[Si]$  回归图

是 $[\text{Si}] = 0.40 \sim 0.48$ 。

图 3-36 是单炉利用系数  $DU_t-(R)$  回归图,从图中看出利用系数与炉渣碱度之间复杂的非线性关系。随着碱度增加,利用系数总体趋势下降,但是,在碱度高端( $R$ )=1.22 时利用系数达到最大值 2.6。而在碱度低端,也有一个极值点( $R$ )=1.04,能够达到较高利用系数。因此,需要根据炉况正确确定炉渣碱度的最佳控制点,充分挖掘利用系数的潜力。

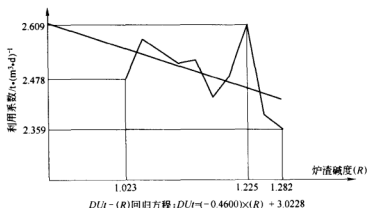


图 3-36 单炉利用系数  $DU_t$ -渣碱度( $R$ )回归图

图 3-37 是铁水 $[\text{S}]$ 与 $[\text{Si}]$ 回归折线图,尽管 $[\text{S}]$ 与 $[\text{Si}]$ 之间的关系是波动的,但是随着铁水硅含量的增加, $[\text{S}]$ 呈现总体下降趋势是稳定的,即 $[\text{S}]$ 与 $[\text{Si}]$ 之间是负相关的。由此,需要注意的是在实施低硅冶炼时需要关心铁水硫含量波动不能出格。

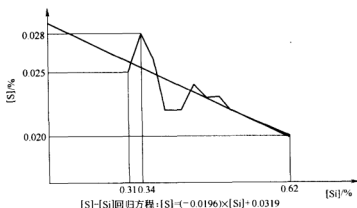


图 3-37  $[\text{S}]-[\text{Si}]$ 回归图

图 3-38 是铁水 $[\text{S}]$ 与( $R$ )回归折线图,十分显然, $[\text{S}]$ 随着( $R$ )的升高而下降,



呈负相关关系。而且,在碱度低端的最佳点,利用系数最高时也是[S]的峰值。因此必须注意防止铁水质量出问题,在碱度的高端,铁水质量则不成问题。

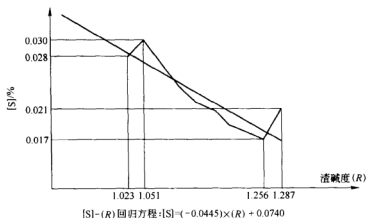


图 3-38 [S]-(R)回归图

图 3-39 是理论渣碱度 LZR 与炉渣碱度(R)回归图,以配料碱度(理论渣碱度)为横坐标,以炉渣碱度为纵坐标,则两者之间的正相关性质趋势明显。即配料碱度高,实际炉渣碱度也高。由此,可以按照配料碱度与炉渣碱度的回归系数,从炉渣碱度的优化范围出发,计算出配料碱度的合理范围。

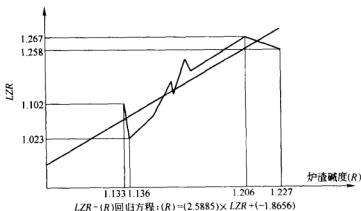


图 3-39 配料渣碱度 LZR-炉渣碱度(R)回归图

### 3.5 冶炼强度的优化

在【优化】菜单下单击【5 冶强优化】,屏幕显示子菜单【5.1 等步长统计】,【5.2 变频统计优化】。双击这两个子菜单中任一,屏幕都显示一个冶强优化的选择界面如图 3-40 所示。

在图 3-40 界面上,共有 6 种项目需要进行选择:

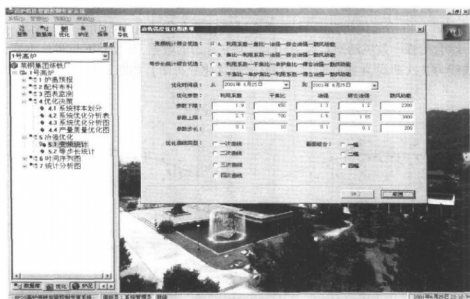


图 3-40 冶强优化选择界面

(1) 统计方法选择。选择【等步长统计】还是【变频统计】。

(2) 优化时间段选择。选择统计的起始时间和结束时间,可以是一个月或更长时间。

(3) 优化参数的变动区间选择和步长选择。默认值的参数下限与上限是该段时间所有数据的变化范围和预定的步长。用户可以通过合理选择上限与下限把异常点过滤掉。用户可以变更步长。

(4) 优化曲线类型选择。包括直线、二次曲线、三次曲线或四次曲线。

(5) 画面组合选择。可以选择单幅画面,也可以选择双幅或四幅画面。单幅画面便于细致分析,四幅画面便于综合对比。

(6) 目标变量选择。由屏幕上可见,这部分内容包括:A 以利用系数为目标变量;B 以焦比为目标变量。

通过以上选择,可以组合得到各种不同的图形来分析和确定冶炼强度的优化范围。从而能够得到既是高利用系数,又是低焦比的最佳冶炼强度范围和数量关系规律。

### 3.5.1 变频统计优选

在【5 冶强优化】子菜单下双击【5.1 变频统计】屏幕显示优化界面图,如图 3-40 所示。

只有在【3.4 优化决策】中已经完成了样本划分和系统优化分析表计算的基础上,才可以进行冶炼强度的变频统计优选。

### 3.5.1.1 以利用系数为目标变量的优选

在图 3-40 冶强优化界面上,选择变频统计综合优选:【A 利用系数—焦比—冶强—综合冶强—鼓风动能】,取 2001 年 7~9 月份的数据,参数范围与步长不变,拟合曲线为 2 次曲线,4 幅画面,则得到【冶强优化分析图】,如图 3-41 所示。

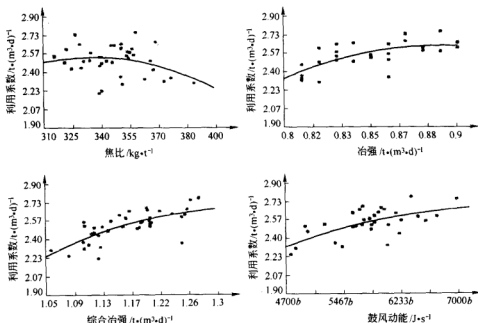


图 3-41 变频统计下的冶强优化分析图(以利用系数为目标)

在图 3-41 的工具栏上有 7 个功能钮可供选择:

(1) 左—右—上—下移动钮。这些钮包括:【<】、【>】、【↑】、【↓】,单击它们则拟合图形将向左、向右、向上、向下移动。并且随着边沿的数据被排除,拟合曲线将发生变化。

(2) 切换图形钮。单击【切换图形】,则在屏幕上显示菜单:1. 利用系数—焦比;2. 利用系数—冶强—冶强;3. 利用系数—综合冶强;4. 利用系数—鼓风动能。通过选择这 4 个图形中任意一个,则图 3-41 中将按照切换要求,并把选中的一个图形放在第一幅。

(3) 选项钮。单击【选项】钮,则屏幕显示选择画面,即在不退出 3.41 图形的情况下可以重新选择参数范围,改变冶强优化分析图。

从图 3-41 的 4 幅优化图中可以看到:焦比随利用系数上升而下降,利用系数随冶强和综合冶强的上升而上升,并且利用系数随鼓风动能提高而上升。

### 3.5.1.2 以焦比为目标变量的优选

在图 3-40 选择菜单下,选择:[B 焦比—利用系数—冶强—综合冶强—鼓风动能],输入优化时间段为 2001 年 7~9 月,不改变参数上下限和步长,选择 2 次曲线和 4 幅画面,得到焦比的冶强优化分析图,如图 3-42 所示。

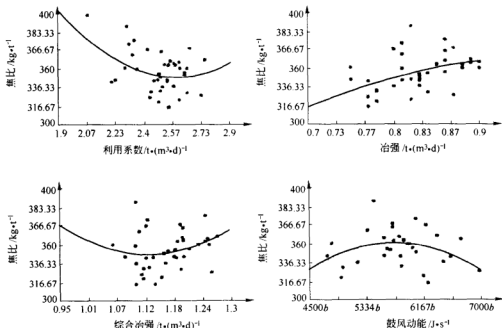


图 3-42 变频统计下的冶强优化分析图(以焦比为目标)

由图 3-42 的 4 幅优化图可以看到:焦比随利用系数的提高而下降,但是,当利用系数超过 2.6 时,焦比将随利用系数的提高而上升。在焦比与冶强及综合冶强的非线性关系中,一方面焦比随冶强的提高而上升;另一方面在综合冶强  $DZI \leq 1.15$  时,焦比随综合冶强的上升而下降,在综合冶强  $DZI$  超过 1.15 后,则焦比将随着综合冶强  $DZI$  的提高而上升。另外,焦比与鼓风动能的关系却是随着鼓风动能的升高,焦比先升后降。

### 3.5.2 等步长统计优选

在【冶强优化】子菜单下,双击【5.2 等步长统计】,屏幕显示如图 3-40 所示的选择界面。与变频统计情况相类似地进行选择,我们可以得到两套等步长统计下的冶强优化图:一套以利用系数为目标变量,一套以焦比为目标变量。

#### 3.5.2.1 以利用系数为目标的冶强优化分析图

在图 3-40 选择菜单下,选择等步长统计综合优选的【A 利用系数—干焦比—

单炉焦比—综合冶强—鼓风动能],输入优化时间段为2001年7~9月,不改变参数上下限和步长,选择2次曲线和4幅画面,于是得到以利用系数为目标的冶强优化分析图,如图3-43所示。

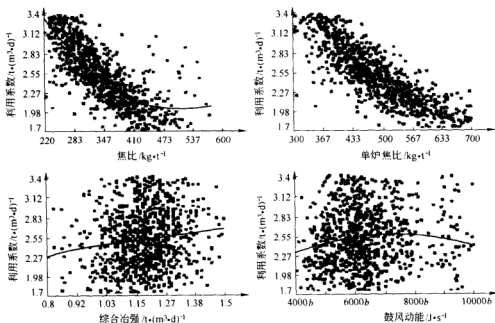


图 3-43 等步长统计下的冶强优化分析图(以利用系数为目标)

由图3-43看到:虽然在等步长分析中数据的散布性很强,但是利用系数与焦比的负相关是明确的;而利用系数与综合焦比、鼓风动能的相关性则比较弱。

### 3.5.2.2 以焦比为目的的冶强优化分析图

在图3-40选择菜单下,选择等步长统计综合优选的[B干焦比—单炉焦比—利用系数—综合冶强—鼓风动能],输入【优化时间段】为2001年7~9月,不改变参数上下限和步长,选择2次曲线和4幅画面,于是得到以焦比为目标变量的优化分析图,如图3-44所示。

在应用冶强优化分析图求解冶强的最佳决策点过程中,需要把握的是:提高冶炼强度对提高利用系数的功效多大?在提高利用系数过程中焦比是增加了还是减少了?在以上两组优化图中,求出焦比的下降—平缓—上升曲线与利用系数的上升—趋缓曲线的交集范围,即是冶强的最佳决策范围。这是按照利用系数较高而焦比较低的要求作出的决策。然而,对于需要更多铁水的企业,更高的利用系数与上升的焦比对于公司总体效益的影响则是一个更复杂的优化决策,需要另外进行更深入的优化分析。

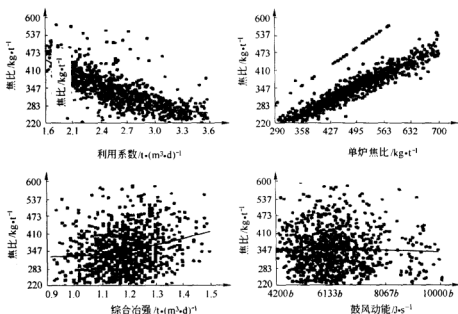


图 3-44 等步长统计下的冶强优化分析图(以焦比为目标)

### 3.6 时间序列分析

#### 3.6.1 时间序列分析原理

从炼铁工艺理论计算模型来分析高炉的过程控制,可以看到理论与实际存在相当大的差距。因而工艺理论计算模型不能覆盖高炉过程控制。而从运筹学和控制论角度看,高炉炼铁过程是非线性的大时滞的可控的随机过程。其影响因素众多,参数变化复杂。参数对目标函数的作用更是非线性特征显著。因此应用传统的肯定型数学方法研究高炉过程的数量关系,例如回归分析方法等,也无法得到符合生产实际要求的控制模型。为此,我们遍查各种有效的应用数学工具,终于选择了时间序列分析这一现代应用数学方法,作为解剖高炉过程、把握过程控制的可视化软件仪表。并且为这种通用仪表设计了标准画面:过程的时间序列图和统计分布图。从而为高炉工长提供了强有力的观察、分析高炉过程的生产工具。

时间序列图作为软件仪表的使用效果十分直接。例如,原来在高炉日志上看不到的原燃料成分波动情况和趋势,现在通过原燃料时间序列图既能够了解过去一段时间的变化,又能够对下一步变化有所预见,从而采取有效的应对措施。又如:原来看不到的炉温变化过程,现在通过炉温四元时间序列图,把炉温发展的错综复杂关联摆在面前,进行客观的分析与讨论,如此等等。实践证明,工长用好时

间序列图就能够比较正确、有效、预见性地把握高炉生产发展进程。

怎样使用时间序列图这种软件仪表? 时间序列图的使用功能需从以下几方面考虑:

(1) 首先是参数自身的微观分析, 即分析时间序列中参数的数量随时间的变化。包括近期、中期和长期这 3 个层次的变化。

(2) 其次是参数的宏观过程分析, 即参数变化的趋势分析。其理论基础是数据滤波和“长波理论”。通过数据滤波, 不难看到在错综复杂的变化中所隐含数据发展趋势: 一种较长时间尺度下的数据升降起伏过程。这是不以人的意志而转移的自然规律, 称为长波波动。

(3) 再次是多元时间序列图的相关分析。各项参数的趋势性变化之间的关联: 是正相关还是负相关? 是线性关系还是非线性关系? 逐步深入解剖了多元参数之间、参数与指标之间的错综复杂关系之后, 也就能够逐步把握高炉过程的智能化控制。

(4) 最后是参数的统计分布分析, 从分布图看参数变化规律: 数据是否来自同一母体? 是否发生阶段性显著变化? 异常数据来源于何处? 在时间序列图微观分析基础上进行的分布图宏观分析, 就能够对微观变化作出更深刻的结论。

总之, 对时间序列图完全可以应用系统分析(SA)理论中的“5W+H”分析法来进行信息的分析, 对过程的规律和异常提出以下 6 个方面的分析结论: 是谁(Who), 何时(When), 何处(Where), 何项参数(What), 为什么差异(Why), 以及如何解决(How)。

对高炉过程参数的时间序列图分析, 是按照工艺参数分类进行的。工艺参数分类包括原燃料条件参数、上料制度参数、送风制度参数、出铁出渣参数、炉体温度场参数、炉体温差参数和煤气流参数等 7 个方面。每一方面又包含着若干组常规的参数组合。在一幅画面上同时显示 4~6 项参数, 组成多元时间序列图, 比较、考察和分析参数间的非线性关联。这种通用灵活的组合, 在【时间序列分析】模块中共计组成了 58 幅软件仪表供工长使用。

### 3.6.2 时间序列图的功能与操作

在【优化】菜单下, 单击【6 时间序列】前的【+】号, 即可展开时间序列子菜单: 【6.1 原燃料条件】、【6.2 上料制度】、【6.3 送风制度】、【6.4 出铁出渣】、【6.5 炉体温度场】、【6.6 炉体温差】、【6.7 煤气分析】。然后根据所需的时间序列属于哪一类, 双击该类参数。此时屏幕显示选择时间段对话框。输入开始时间和结束时间(结束时间默认值为 1 个月), 单击【确定】钮, 则显示出【参数切换】对话框, 也就是该类参数的二级子菜单。单击所选的参数组, 使之变成蓝色, 然后单击【确定】钮, 即进入该组时间序列图。如图 3-45 所示。

时间序列图的功能与操作分为 3 部分如下:

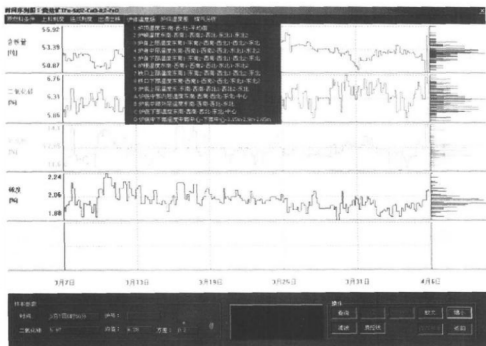


图 3-45 时间序列图及其功能菜单

(1) 界面上方为【参数选择】菜单栏。7 类参数供选择,单击该类参数,即显示二级子菜单。单击二级子菜单上的一组参数,即可进入该组时间序列图。二级子菜单共可展开 58 幅时间序列图。

(2) 界面左下方是参数主要数据表。包括参数名、时间、炉号、实时值、平均值、均方差。将鼠标的空心箭头光标移到时间序列图上,单击左键,则画面上显示十字光标。参数名为十字光标所在时间序列的参数。其他数据为该参数的平均值和均方差,以及十字光标交叉点的时间(炉号)和实时值。

(3) 界面的右下方是时间序列图的 8 种主要操作如下:

1) 【放大】与【缩小】钮。用鼠标单击【放大】钮,则时间序列图的时间尺度拉宽,原来一幅画面显示 1 个月数据,依次放大后,只能显示 20d,12d,10d,⋯,2d 的数据。在放大的状态下,例如画面只显示 2d 数据,那么依次单击【缩小】钮,画面显示的数据依次增加到 4d,6d,8d,⋯,直至全月数据。

2) 左移钮【<】与右移钮【>】。在时间序列图被放大后,画面上只能看到一部分时间序列图。其他时间的序列图需要移动滚动条来观察。利用鼠标单击左移钮【<】或右移钮【>】,就可以看到左边或右边的时间序列图。

3) 【查询】。单击【查询】钮,屏幕上显示查询时间对话框,输入起始时间和终止时间,单击【确定】钮,即可显示新的时间段的该项参数时间序列图通过【查询】钮



和参数选择菜单栏。我们可以在图 3-45 的界面下,即可完成参数的切换和时间的变换,得到用户所需要的新时间序列图;而不必单击【退出】钮,退到【时间序列】模块,再重新进入时间序列图。

4)【滤波】。单击【滤波】钮,则时间序列图按照某一滤波公式重新计算过,并且按照滤波后的数据显示新的时间序列图,称为滤波时间序列图。此时【滤波】钮名称改换成【复原】钮,单击【复原】钮,则滤波时间序列图复原成原来的时间序列图。使用【滤波】钮可以帮助初学者更方便地看清时间序列的长波波动规律。

5)【质控线】。【质控线】即【质量控制线】控制钮,这是根据全面质量管理的工作要求建立的。当单击该钮时,在每一条时间序列图上显示均值线、上控制线、下控制线。以此观察时间序列图的变动是在均值线上方还是下方、是否越过了控制线。如果再次单击【质控线】钮,则时间序列图上的控制线消失,恢复到原来的图形。

6)【退出】。单击该钮则从时间序列图退出,回到【优化】菜单中【时间序列】子菜单。

### 3.6.3 原燃料条件时间序列

在【6 时间序列】子菜单下双击【6.1 原燃料条件】,即进入选择时间段对话框。输入开始时间和结束时间,单击【确定】钮,则得到图形选择对话框如图 3-46 所示。

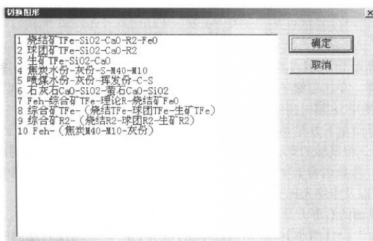


图 3-46 原燃料条件选择时间序列选择对话框

选择其中 1 组参数,单击它成蓝色,再单击【确定】钮,即可得到该组的时间序列图。

图 3-47 为烧结矿成分的时间序列图。从图可以看到在高炉日志上看不到的原燃料波动状态和发展趋势。同时也可以看到烧结矿品位与  $\text{SiO}_2$ -CaO 之间的负相关关系规律。

在以上 10 组原燃料参数的时间序列图外如果需要加入新的时间序列图组合,

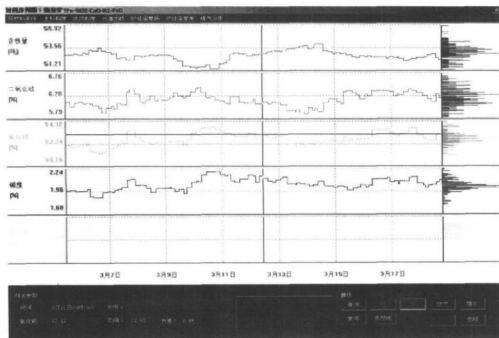


图 3-47 烧结矿成分时间序列图

仍然可以根据生产与技术分析的需要添加新的时间序列图。

### 3.6.4 上料制度时间序列

在[6 时间序列图]子菜单下双击[6.2 上料制度],即进入选择时间段对话框。输入开始时间,和结束时间,单击[确定]钮,则得到图形选择对话框如图 3-48 所示。

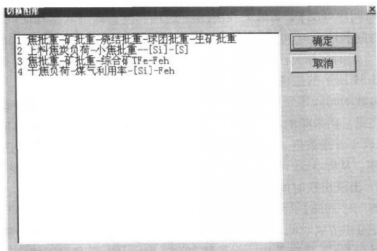


图 3-48 上料制度时间序列选择对话框

单击其中一组成蓝色,单击【确认】钮,即可得到如图 3-49 所示的料批重时间序列图。与原燃料数据每班 1~3 次固定频率的化验数据不同,上料数据的采样频率是变动的。短则不到 1 小时,长则 1 天以上,才变一次料。有时焦批很长时间也不变,只变动矿批等等情况。因此,上料参数的时间序列形成大跨度的台阶状曲线。

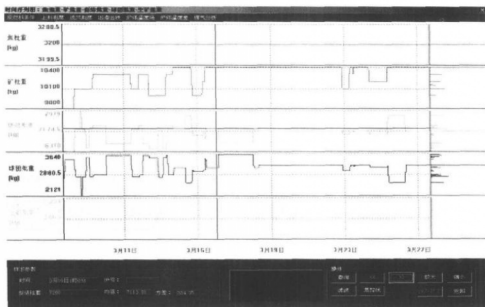


图 3-49 上料制度(料批重时间序列图)

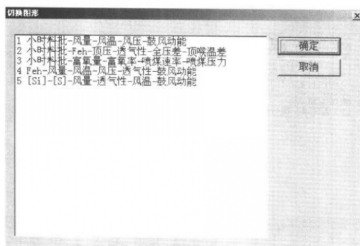
### 3.6.5 送风制度时间序列

在【6 时间序列图】子菜单下双击【6.3 送风制度】,即进入选择时间段对话框。输入开始时间和结束时间,单击【确定】钮,则得到图形选择对话框,如图 3-50 所示,包含着 5 组时间序列图。单击其中一组,使其成为蓝色,然后单击【确定】,即可得到如图 3-51 所示的送风参数分析时间序列图。

送风参数的时间序列图比原燃料参数、上料参数的时间序列采样密度高。它们主要是在线自动采集的参数。每 5s 巡回检测一遍各参数,然后汇总成分钟级数据,再汇总成小时级数据。从图 3-51 也可以看到数据的采样密度比图 3-47 与图 3-49 密集得多。从图 3-51 可以分析送风参数与炉温[Si]发展之间的时滞关系。

### 3.6.6 出渣出铁时间序列

在【6 时间序列图】子菜单下双击【6.4 出铁出渣】,即进入选择时间段对话框,输入开始时间和结束时间,单击【确定】钮,则得到出铁出渣时间序列图选择对话框,如图 3-52 所示。单击其中一组参数,单击【确定】钮,屏幕即可得到该组的时间



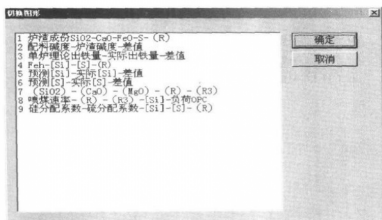


图 3-52 出铁出渣时间序列图选择对话框

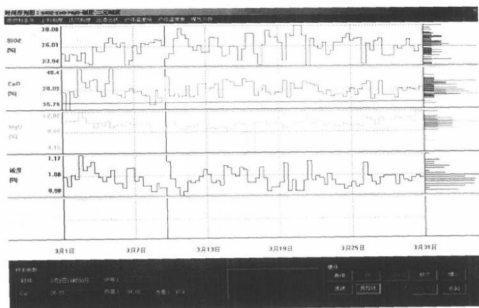


图 3-53 炉渣参数的时间序列图

### 3.6.7 炉体温度场时间序列

在【6 时间序列图】子菜单下双击【6.5 炉体温度场】，即进入选择时间段对话框，输入开始时间、结束时间，单击【确定】按钮，则得到炉体温度场时间序列图选择对话框如图 3-54 所示。

单击任一组参数，使之成蓝色，然后单击【确定】按钮，即可进入时间序列图，如图

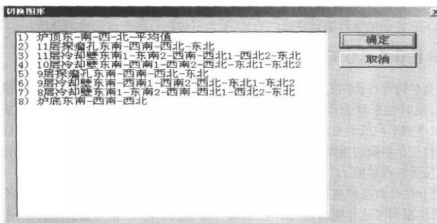


图 3-54 炉底温度场时间序列图选择对话框

3-55 为炉底温度的时间序列图。从图中可以看到炉底温度的周期性波动,是为“小波”。同时,包含着“长波”波动,并且,在波动中呈现逐步上升的趋势。因此,可以说,炉底的侵蚀在逐渐加强,必须注意这种变化。并且采取必要的措施,制止炉底温度的上升趋势。从图中看到:虽然在冶炼过程中,每小时炉底温度的变动并不明显,然而 1 个月之后,从温度的时间序列图上就能够观察到上升趋势的显著性变化。

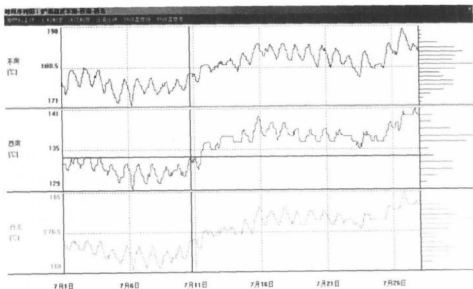


图 3-55 炉底温度时间序列图

从探瘤孔、冷却壁的时间序列图我们也可以直观地观察到温度的中长期变化过程。它完全能够帮助有经验的炉长、工长对炉内行程作出正确的分析。

### 3.7 统计分布分析

高炉过程作为随机可控系统,其众多参数的随机分布性既来源于自身的分布特性,同时也来源于其他参数的影响。因此,对高炉冶炼过程许多参数的统计对比,仅考察平均值的对比是不够的。根据高炉炼铁实际,在本节中,我们设计的对比项目包括参数的重要统计特征值:均值、标准差、最大值、最小值、数据量以及差异的显著性检验值  $t$ 。

同时,针对高炉过程影响参数众多的实际,对高炉过程数百项参数的统计对比,我们根据工艺分类为 6 大制度,在每一类参数中,又根据参数的关联性,组合成不同画面,在每一画面中,一般设置 4 幅对比图以便于用户分析对比。

在【优化】菜单下,单击【统计分析图】前的【+】号,展开统计分析子菜单,包括:【7.1 原燃料条件】、【7.2 上料制度】、【7.3 送风制度】、【7.4 出铁出渣】和【7.5 炉体温度场】等 5 个方面。

双击子菜单的任意一项,屏幕上首先显示统计对比的时间段选择对话框,如图 3-56 所示。

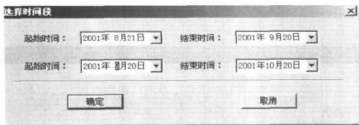


图 3-56 时间段选择对话框

根据用户的要求,先设定考察参数的基准时间段和对比时间段。起始时间和结束时间均由用户设定,时间段可以是几天,也可以是几十天或若干个月。在时间设定中,默认的对统计对比时间是以一个月为始末的。如起始为某月 1 日,则结束时间一般为月末 31 日或 30 日。如果以某月 15 日为起始,则结束时间一般为下月 15 日。对每周、每旬等特定时间的统计对比,则由用户自己设定开始与结束时间。完成时间设定并单击【确定】钮后,屏幕即出现【原燃料条件】对比子菜单的首项统计对比图,即烧结矿成分统计分布对比图,如图 3-57 所示。

图 3-57 可以看作是统计分布对比图的初始界面。因为在此界面下,通过单击界面上方的菜单,展开各个 3 级子菜单,可以进入任意一组统计对比图。在初始界面的左下方则是统计对比图的 4 种通用操作功能钮。其操作和功能简要说明如

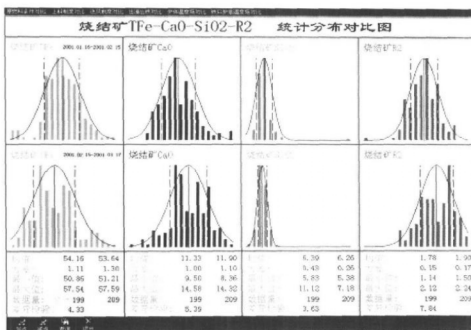


图 3-57 烧结矿主要成分统计对比

下:

(1)【加点】。单击【加点】钮,则分布直方图的直方条数目将增加,变细,即数据分割区间加密,步长缩小。此时分布特性可观察得更细致。

(2)【减点】。单击【减点】钮,则分布直方图的直方条数目将减少,变粗,即数据分割区间的步长增大,分布特性粗糙。

(3)【查询】。用于变更统计对比的时间段。单击【查询】钮,则屏幕显示新的统计对比时间对话框,由用户输入新的统计对比起始时间和结束时间,计算机立即给出同组参数在新时间下的统计对比图。也就是不必从统计对比图退出,就可以进行新的统计对比。

(4) **【退出】**。单击该按钮,则从统计对比图退回到**【统计对比图】**子菜单。

另一方面,在图 3-57 画面上方是统计对比图的二级子菜单的 5 项菜单栏:【原燃料条件对比】、【上料制度对比】、【送风制度对比】、【出铁出渣对比】和【炉体温度场对比】。单击各子菜单,即可在图形上方显示该栏的三级子菜单。选择出一组参数后,屏幕即可得到指定时间段的该组参数的统计对比。

### 3.7.1 原燃料条件对比

在【统计分析图】子菜单下,双击【7.1 原燃料条件】,则屏幕上显示统计对比的时间段对话框。输入需要进行统计对比的两个时间段的起始时间和结束时间,屏幕显示原燃料条件参数的第一项统计对比图,如图 3-58 所示。



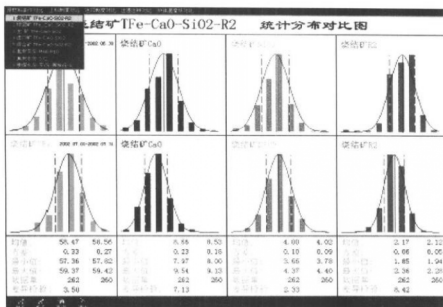


图 3-58 原燃料条件统计对比图

如果在图 3-58 画面下需要进行新时间段的统计对比,单击屏幕左下方的【查询】钮,即可显示【时间设定框】。重新输入新的基准时间与对比时间,即可得到新的对比图。

在图 3-58 下,单击图形上方菜单栏中的【原燃料条件对比】,展开 3 级子菜单,如图 3-59 所示。用户可根据自己的需要双击某一组参数,得到该组参数在同一时间段的统计对比图。

- 1 烧结矿 TFe-CaO-SiO2-R2
- 2 球团矿 TFe-CaO-SiO2-R2
- 3 生矿 TFe-CaO-SiO2
- 4 进口矿 TFe-CaO-SiO2
- 5 综合矿 TFe-CaO-SiO2-R2
- 6 焦炭灰分-M40-M10
- 7 焦炭水分-S-C
- 8 喷煤水分-灰分-挥发分-S

图 3-59 原燃料条件 3 级选择子菜单

### 3.7.2 上料制度对比

在【统计分析图】子菜单下,双击【7.2 上料制度】,则屏幕上显示统计对比的时间段对话框。输入需要进行统计对比的两个时间段的起始时间和结束时间,屏幕即显示统计对比图,如图 3-60 所示。

在图 3-60 下,单击图形上方菜单栏中的【上料制度对比】,展开 3 级子菜单,用户根据自己的需要双击某一组参数,即可得到该组参数的统计对比图。

上料参数 3 级选择子菜单如图 3-61 所示:

如果需要对该组参数进行新的时间段下的统计对比,则单击图形左下方的【查询】钮,屏幕即出现时间段对话框。输入新的基准时间和对比时间,即可得到该组

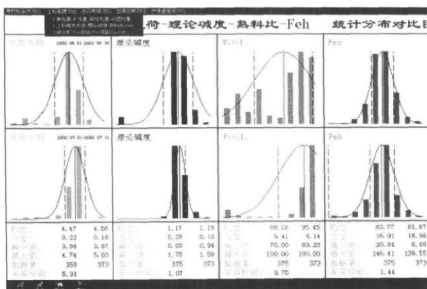


图 3-60 上料制度菜单与统计对比图

参数在新的时间段下的统计对比图。

### 3.7.3 送风制度对比

在【统计分析图】子菜单下,双击【7.3

送风制度],屏幕上显示统计对比的时间

段对话框。输入需要进行统计对比的两个时间段,屏幕即显示统计对比图,如图 3-62

- 1 焦批重-矿批重-烧结批重-球团批重
- 2 上料焦炭负荷-理论碱度-熟料比-Feh
- 3 综合矿TFe-烧结TFe-球团TFe-Feh

图 3-61 上料参数 3 级选择子菜单

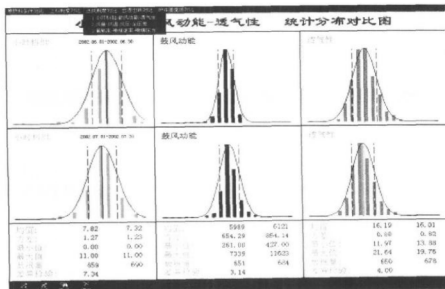


图 3-62 送风参数的统计对比图

所示。

同时,也可以在图 3-60 下,单击图形上方的菜单栏【送风参数对比】,展开 3 级子菜单,双击某一项,即可进行同一时间段新的参数的统计对比。

送风参数 3 选择子菜单,如图 3-63 所示。

- 1 小时料批-鼓风动能-透气性
- 2 风量-风温-风压-全压差
- 3 富氧率-喷煤速率-喷煤压力

图 3-63 送风参数 3 级选择子菜单

### 3.7.4 出渣出铁对比

在【统计分析图】子菜单下,双击【7.4 出渣出铁】,则屏幕显示统计对比的时间段对话框。输入两个时间段的起始时间和结束时间,屏幕即显示统计对比图,如图 3-64 所示。

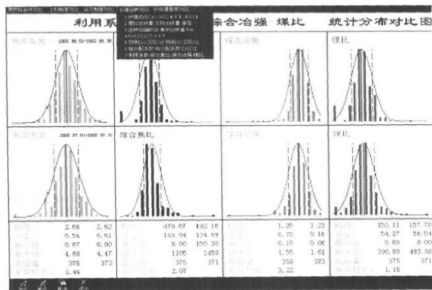


图 3-64 利用系数—综合焦比—综合冶强—煤比的统计对比图

如果需要统计对比其他参数,在图 3-64 下,单击上方 3 级子菜单中的其他项,即可进行同一时间段另一组参数的统计对比。出渣出铁对比的 3 级子菜单,如图 3-65 所示。

### 3.7.5 炉体温度场对比

在【统计分析图】子菜单下,双击【7.5 出渣出铁】,则屏幕上显示时间段对话框。输入需要对比的两个时间段的起始时间和结束时间,屏幕即显示统计对比图,如图 3-66 所示。

- 1 炉渣成份 $\text{CaO-SiO}_2$ -(R)-(R3)
- 2 理论出铁量-实际出铁量-差值
- 3 出铁间隔时间-单炉出铁量-Feh
- 4  $\text{Feh}[\text{Si}]-[\text{S}]$ -(R)
- 5 预测 $[\text{Si}]$ -实际 $[\text{Si}]$ -预测 $[\text{S}]$ -实际 $[\text{S}]$
- 6 硅分配系数-硫分配系数- $[\text{Si}]-[\text{S}]$
- 7 利用系数-综合焦比-综合冶强-煤比

图 3-65 出铁出铁对比的 3 级选择子菜单

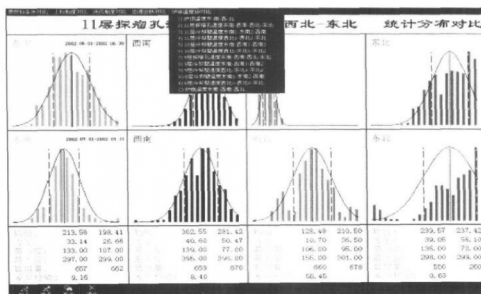


图 3-66 炉体温度场参数统计对比图

- 1) 炉顶温度东-南-西-北
- 2) 11层探渣孔温度东南-西南-西北-东北
- 3) 11层冷却壁温度东南1-东南2-西南
- 4) 11层冷却壁温度西北1-西北2-东北
- 5) 10层冷却壁温度东南-西南1-西南2
- 6) 10层冷却壁温度西北-东北1-东北2
- 7) 9层探渣孔温度东南-西南-西北-东北
- 8) 9层冷却壁温度东南-西南1-西南2
- 9) 9层冷却壁温度西北-东北1-东北2
- A) 8层冷却壁温度东南1-东南2-西南
- B) 8层冷却壁温度西北1-西北2-东北
- C) 炉底温度东南-西南-西北

图 3-67 炉体温度场对比的 3 级子菜单

如果是统计对比的不是 11 层探瘤孔温度而是其他参数,可在图 3-66 下,单击图形上方 3 级子菜单中的一项,即可进行同一时间段该组参数的统计对比。

炉体温度场对比的 3 级子菜单,如图 3-67 所示。

## 4 高炉冶炼行程的炉况诊断

### 4.1 炉况诊断的工作原理

#### 4.1.1 简要说明

炉况诊断是高炉“专家系统”的核心内容之一。本章的炉况诊断模块功能是根据我国炼铁专家的现场经验和智能控制理论总结归纳建立和开发的,其知识库和推理机的结构系自主开发,而不是建立在国外高炉专家系统开发工具的平台之上。

国外大高炉专家系统的经验是,为提高专家系统对炉况诊断的可靠性,需要对高炉增加许多必要的检测条件。例如,对高炉本体增加红外热成像装置,在风口安装风口燃烧带测温,炉顶增添煤气自动分析仪等等。这些自动化检测设备的投资都是比较昂贵的,因此,这些条件对于国内大多数高炉来说都不具备。那么,是否国内高炉的专家系统开发就只能等待装备水平提高以后才能前进呢?通过长期研究,我们在总结国内炼铁专家现场经验的基础上,大量使用了各类数学模型工具,通过信息变换和数理逻辑判断,建立智能化推断模型。它能够在高炉现有条件下,提出炉况诊断的诸多推论,对工长提高炉况判断水平具有重要的作用。从而使“智能控制专家系统”的智能化水平提高到一个新台阶,也使炉况诊断内容更加适应高炉生产的需要。当然,在经济条件允许下为高炉增添必要的检测设备,这对“专家系统”进一步提高对炉况的智能化推断水平是大有好处的。

显然,高炉炉况是否将出现异常状态或已出现异常状态征兆,对此的正确预测与判断,并且提供必要的声光报警,提醒工长注意,使之及时采取有效措施,避免炉况故障的发生,这是高炉炉况诊断的智能化技术核心。如果光是靠检测手段来检测出高炉已经发生故障,虽然是“真实可靠”,但是它对高炉生产的指导意义却是低层次的。高智能层次的故障诊断应该是防患于未然。因此,必要的检测条件是基础,故障征兆的诊断则是智能化的核心。

高炉生产过程是一个动态的非线性系统。就像中医能够对人体系统的给出系统诊断一样,高炉生产过程的非线性系统是否发生异常是能够按照系统状态的层次给予推断的;是能够通过相关联的各种参数是否异常和发生异常的多少给出故障征兆推断的;是能够通过高炉各部分参数的关联分析,给出故障是否可能发生相互验证推断的;当前炉况是能够通过所有正常炉况的状态特征进行对比作出判断的。

当然,要对这许多方面进行推断和判断,要对许多数据和仪表进行检查、判断,从而发现异常炉况征兆,这些工作即使对于有经验的工长也是困难。更何况有时难免疏忽,不能及时发现炉况异常征兆,导致炉况故障的发生。

然而,对于采集到的各种信息,按照编制好的程序,不厌其烦地进行详细的检查与分析判断,却是计算机的优势。把国内炼铁专家现场处理炉况故障的丰富经验,不断地纳入到“专家系统”中,并且在实践检验中不断完善,那么我们完全有理由相信,在高炉现有条件下总结出高智能化水平的可靠性比较高的炉况诊断软件包是完全能够做到的。

#### 4.1.2 炉况诊断模块的操作使用步骤

在系统初始画面下,点击菜单条上的【炉况】钮,进入【1号高炉炉况诊断】。点击它前面的【+】号,即可展开【炉况诊断】子菜单。它包含3项内容:【炉况等级星形图】、【炉况顺行状态诊断】、【炉墙结厚、结瘤诊断】。双击任意一项,即可进入相应的诊断图。

各项炉况诊断的操作步骤以下各节作详细阐述。

### 4.2 炉况等级综合判断星形图

#### 4.2.1 炉况等级综合判断图工作原理

炉况等级综合判断是用图形直观地反映高炉过程的工作状态。我们建立8项参数的炉况等级综合判断【星形图】,使工长一目了然地对当前炉况状态水平有一个基本判断:当前炉况是否处于最佳状态或是正常状态?是否处于波动状态或是故障状态的边沿?或者已经是故障状态了?

高炉生产的最终目标是利用系数的提高、焦比的下降和铁水质量的改善,但是它们不适合作为动态判断高炉过程状态的数量化依据。根据样本空间模型的分析,我们在几十项与利用系数及焦比密切相关的参数中选择了便于采集数据、能够动态反映高炉过程变化的8项参数作为反映高炉炉况等级的依据。这就是:炉温[Si]—渣碱度(R),风量FQ—透气性FF,鼓风动能BE—焦炭负荷OPC,综合冶强ZI和煤气利用率。

星形图中,外圆与内圆半径代表规范化后工艺参数优区范围的上限和下限。中间圆则是代表参数的优化均值。当8项参数均在优化范围中波动时,星形图则是一个凸多边形。如果发生某项工艺参数过低或过高,则星形图都要发生变形;星形图的某个方向凹陷到内圆里或越出到大圆之外。从而很容易判断某项参数异常。

对炉况的系统分析表明,高炉冶炼过程的能量消耗是非线性的。这从系统优化分析表中可以看到:同样利用系数下,焦比高与低可以相差10~20kg/t。我们追求炉况的最佳状态,通过掌握规律保持炉况的最佳状态,就能够避免炉况故障的频

繁发生。根据这一思路,我们把炉况故障诊断的注意力主要不是放在与故障征兆相比判断上,而是经常对炉况等级是否优化进行判断,把正常炉况不断向最佳炉况调优。并且断定在优化炉况下是不可能发生炉况故障的。炉况等级综合判断图正是根据这种智能化推断思路建立的。

#### 4.2.2 炉况等级星形图的操作与使用

在【1号高炉炉况推断】子菜单下,双击【星形图】,画面即显示出炉况等级判断星形图,如图4-1所示。这是“专家系统”数据库中最后一条数据的星形图。当在线运行时,只要及时输入数据,那么它是能够与生产进程同步的。

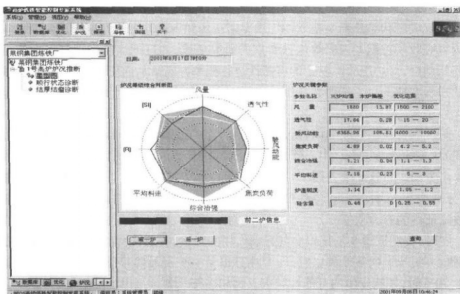


图4-1 炉况等级判断星形图

星形图显示出数据库最后3炉的炉况等级状态:在屏幕上可见,当前炉况状态用浅蓝色绘出星形图,前1炉炉况状态用红色线绘出星形图,前2炉炉况状态用黄色线绘出星形图。这样炉况等级判断星形图就能够同时考察最近3炉的炉况等级变动状况。

图4-1的左边是星形图,右边是数据表。它列出8项参数当前3炉的均值,最后一炉的偏差值,以及在专家知识库中设置的优化范围的上限与下限。这是当工长需要详细分析星形图时,可以立即查阅到的数据,使用十分方便。

在图4-1界面上,点击【前一炉】钮或【后一炉】钮,就可以改变星形图的时间。星形图所反映的炉况等级的日期时间记录在图形上方的【日期】条中。连续点击【前一炉】,我们就可以检查最近炉况等级的连续变化过程。当连续点击【后一炉】移动到最后一炉数据时,【后一炉】钮就会自动灰掉,不起再向后移动的作用。



如果用户需要查询其他时间的星形图,那么可以点击画面上的【查询】钮,显示出查询时间对话框。输入所需查阅的时间,画面立即显示该时间的星形图。

随着时间推移,8项参数的优化范围会发生变动。这时需要根据系统分析结果修改专家知识库中参数优化的上下限。随着参数优化范围设定的变化,星形图的形状就会发生改变。这是用户需要注意的。在正确设置下,星形图呈现为凸多边形时表明炉况处于最佳状态。

### 4.3 炉况顺行状态诊断

#### 4.3.1 关于炉况顺行状态诊断的若干说明

炉况顺行状态诊断是建立在炼铁专家现场知识基础上的专家知识判断。本节的内容吸收了首钢刘云彩等炼铁专家的研究工作,并且把炼铁知识与概率统计的判断相结合,对炉况故障发生的可能性进行概率判断。从而使详细的、繁琐的故障判断过程变成一目了然的判断图像,提高了工长对炉况故障预见性判断的智能化工作效率。

炉况顺行状态诊断的内容包括:悬料状态的诊断、炉缸堆积(中心堆积或边沿堆积)状态的诊断、管道(中心管道或边沿管道)状态的诊断以及炉墙结厚状态的诊断4个方面。对这4个方面9种炉况故障的专家判断依据,在高炉常规检测条件下,分别涉及12种参数。各种参数的不同范围及其发展的升降走向,成为判断炉况故障征兆的有力依据。

同时,我们把这些依据按照其影响作用的轻重、缓急,设置权系数,当计算机逻辑判断表明若干项条件成立时,即可计算出某一炉况故障可能发生的概率。概率高于70%时,显然发生的可能性就大。这相当于气象预报中的降雨概率。

另外,由于高炉过程数据采集的随机波动带来的干扰,简单地以一炉数据判断就下结论,显然可靠性是不足的。因此,我们在图形界面中设置了【上一炉】、【下一炉】移动钮,可以对连续几炉的变化进行动态检查。显然,如果连续几炉判断发生某一炉况故障的概率都很高,那么工长务必采取必要的措施去避免可能发生的故障。而如果前后炉次发生某种故障的概率很小,只是当中一次得到发生某种故障概率很高,则此时不应当认为即将发生故障事件。

#### 4.3.2 炉况顺行状态诊断的操作与判断

在【1号高炉炉况推断】子菜单下,双击【顺行状态诊断】,屏幕界面上即显示炉况稳定顺行状态诊断图,如图4-2所示。图中,【影响参数】栏目下列出的12项参数是:风压、全压差、风量、透气性指数、料速、预温、11层与9层探瘤孔、11层与10层冷却壁、铁水温度以及水箱水温差。它们与9种炉况故障组成了判断矩阵。各炉况故障对应的参数如果发生异常,则在对应位置显示出参数变动特征:在屏幕上可见,用橙色表示上升,深蓝色表示下降,没有发生异常则不显示。12项影响参数

的升降变化,特别是剧烈升降是与炉况顺行密切相关的。

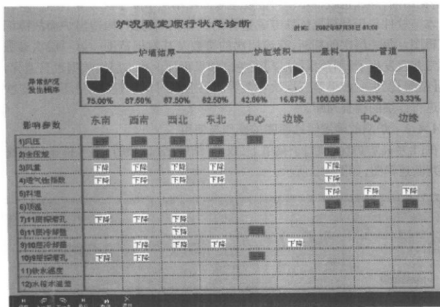


图 4-2 炉况稳定顺行状态诊断图

图 4-2 中,上方的圆形及其中黄色比例代表炉况故障事件发生的概率,其具体百分比数值则标在圆形的下面。例如 25%,则表示该项故障发生的概率是 25%。如图中炉缸中心堆积的概率为 85.71%,则工长必须注意考察此前时间连续过程是否也是如此。如果是同样的判断,则工长必须认真作进一步的分析推断,以求避免故障的发生。如果是仅此 1 次计算机作此判断,那么对此孤立事件不必过于紧张。

#### 4.4 炉墙结厚、结瘤与顽固性结瘤诊断

##### 4.4.1 炉墙结厚、结瘤与顽固性结瘤逻辑诊断图的原理

高炉炉况的稳定顺行需要有一个好的“炉形”作保障。然而,高炉炉内好的反应空间和反应场却经常由于炉墙的结厚、结瘤甚至是顽固性结瘤而被破坏。结瘤严重地影响着高炉炉况的稳定顺行,危害很大,导致高炉的技术经济指标大大下降。因此,炼铁工作者十分关心“专家系统”能够对炉墙结厚、结瘤和顽固性结瘤的预测推断提供帮助。

通过系统分析可知,从炉墙结厚到产生炉瘤,再到顽固性结瘤,这是一个逻辑上相互关联而不会跳跃的、由一般问题逐步发展变成严重事故的过程。如果能够避免结瘤,那么就不可能发生顽固性结瘤。因此,如果能够及时地通过检测数据判

断炉墙结厚与结瘤的征兆,并且在炉墙结厚阶段就能够采取强有力措施,消除结厚,避免结瘤,那么也就根本不可能发生顽固性结瘤事故了。

本节软件包正是根据炼铁专家这样的逻辑判断思路,构造出炉瘤故障综合判断逻辑图。每一层次的判断,有该层次的参数及其数据范围。第一层次参数的数据异常普遍发生了,则预报【结厚】发生。如果再加上第二层次数据也普遍异常,则预报【结瘤】发生。如果第三层次参数异常,则报警【顽固性结瘤】。每一层次计算机都进行详细的检查判断。

#### 4.4.2 炉瘤故障逻辑诊断图的操作与使用

在【1号高炉炉况推断】子菜单下,双击【结厚结瘤诊断】,则屏幕显示炉瘤故障综合判断逻辑图,如图4-3所示。

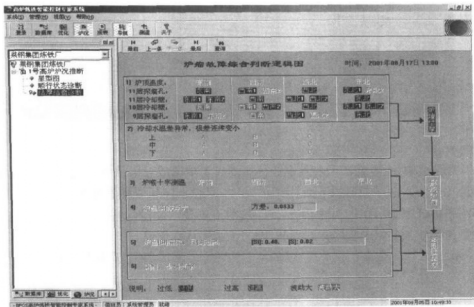


图 4-3 炉墙结厚结瘤故障综合判断逻辑图

图4-3中,炉墙结厚的判断参数包括顶温、喉温、炉身上中下三部位的温度,以及冷却水温上中下三层的变动情况等8个方面。显然,炉墙结厚最可能发生的逻辑条件是:各参数的温度值波动大或过低,这是结厚造成的。而如果所采取的措施化解了炉墙结厚,墙皮结厚脱落,那么该部位原来过低的温度就会因结厚脱落,温度剧烈上升而成为过高。这样,在屏幕上可见,在图4-3中,以红色代表某部位温度过高,以黑色代表某部位温度过低,以棕色代表某部位温度波动大,由计算机对所采集的数据实时作出判断,就能够大大提高工长对可能发生的炉瘤故障的判断效率,减轻工长的脑力劳动强度。

当由炉体温度和冷却水温两方面判断交集表明可能发生炉墙结厚时,则炉墙结厚以红色鲜明地标注出来,立即引起工长的注意。工长通过进一步调阅此前时间连续的计算机判断记录,如果确认连续计算机判断发生了某部位的炉墙结厚,那么该部位发生结厚的可能性就很大了。工长应当采取有效措施来消除结厚,防患于未然。

根据炼铁专家的现场经验,当炉墙结厚已经发生,并且逐步发展到某方位的煤气曲线呈倒钩状,连续几炉的铁水 $[\text{Si}]$ 方差大,即炉温波动大,那么可以进一步判断为高炉的某部位已经发生炉墙结瘤了。因为,只有炉墙结瘤才会造成煤气曲线成倒钩状。所以,在图 4-3 中,当【炉墙结厚】呈现红色,并且第 3 框、第 4 框的现象也已经出现时,那么【形成炉瘤】就会变成红色,发出炉墙结瘤的警告。

当炉墙结瘤已经发生,并且炉温过凉, $[\text{Si}]$ 低、 $[\text{S}]$ 高,塌料、坐料频繁发生时,那么完全可以判断炉内某段各部位发生了顽固性结瘤了。在这种情况下,采取加焦炭、加萤石的措施已经失效,不得不采取炸瘤措施。此时高炉生产的损失就很大了。

以上分析说明,高炉的炉瘤故障是按照事务发展的逻辑规律逐级发展的:起先只是炉墙结厚;不注意消除则发展为炉墙结瘤。再不采取有力措施,则发展到顽固性结瘤而损失大了。因此,如果我们防患于未然,在炉墙结厚阶段就注意不断予以消除,那么也就消除了炉瘤与顽固性结瘤的基础。就不会造成大的损失。

综合以上所述可以看到,如果工长经常利用本节所述的“专家系统”判断检查炉瘤故障征兆,防范炉墙结厚的发展,那么高炉发生炉瘤和顽固性结瘤是完全可以避免的。

## 5 高炉作业管理报表

### 5.1 高炉作业管理的办公自动化

高炉作业报表的统计汇总是高炉工长作业的重要组成部分。每天的大夜班,工长需要用2~3h来完成前一天生产数据的统计汇总工作。而其中大多数都是繁琐、重复的脑力劳动,消耗了工长大量的工作精力。

从“智能控制专家系统”的功能设计角度来看,在工长作业管理的统计汇总工作中,“高炉作业日志”和多达7个“整理记录”表与3个“月统计台账”表的统计计算,完全可以发挥计算机数据资源共享的优势,由计算机自动生成。“高炉作业日志”上的数据汇总,因与“整理记录”的内容重复,也就没有必要重复设置。而“高炉作业日志”上的大量手工记录的信息,也因为有了第2章的数据库与数据表可以方便地查询,也失去了记录的意义。

因此,随着“智能控制专家系统”在高炉生产过程的技术与操作上的应用成功,计算机在高炉作业管理上的应用也必然合理地提了出来。并且,随着炼铁厂计算机局域网的建成和网络版专家系统投入各相关岗位运行,提高了管理效率,旧的手工管理模式的改革也必然提了出来。这就是传统产业信息化改造中的“流程再造”和作业管理的办公自动化。

这样,在新的计算机技术应用与旧的管理方式之间必然产生矛盾。为了平稳完成新旧技术与新旧管理模式的过渡,本章【管理报表】模块首先原样自动生成旧的管理报表。通过用户的使用和熟悉,通过使用不断总结经验和完善,用户一定会总结出实用的、简捷的管理报表,以适应网络化、信息化、高效化管理工作的要求。

### 5.2 管理报表模块的使用通则

在“智能控制专家系统”初始界面下,单击上方菜单栏上的【报表】钮,系统则进入【报表】菜单。单击【1号高炉】前的【+】号,展开二级子菜单:【整理记录1】,【整理记录2】,【月统计台账】和【高炉操作日志】。

依次单击各子菜单前面的【+】号,即可展开三级子菜单,如图5-1所示。从三级子菜单可以看到,高炉管理报表共有15张表。按照管理报表的名称及其栏日即可调阅用户所关心的数据表。

### 5.2.1 选择、预览管理报表

在三级子菜单下,双击所要查阅的报表名称,则屏幕显示选择报表日期对话框,如图 5-1 所示。对话框默认日期为当前日历时间,也就是制表时间。用户在【请选择报表日期】下输入所需查阅的月份。月份下的“日”无需修改,因为这些报表均为月份汇总表,故与“日”无关。



图 5-1 【管理报表】菜单与报表日期选择

单击【预览】钮,稍候,屏幕即显示该月份的整理记录表或月份的统计台帐。

由于在 100% 比例下显示报表,屏幕无法看到全部报表内容,我们通常在界面上方工具栏上调整显示比例尺。单击比例尺钮,选择 75% 比例,适当移动屏幕右边和下边的滚动条,即可看到全月的整理汇总数据。

### 5.2.2 退出报表预览及打印报表

在【报表】界面下,单击屏幕左上角的【×】号,即可退出表 1,返回到图 5-1 所示的界面。此时,如果需查阅另一月份的同一报表,则只需更改选择报表时间对话框中的月份,再单击【预览】钮,即可得到另一月份的报表。如果是要查阅其他【报表】和其他【整理记录】,则必须先单击【关闭】钮,返回到三级子菜单界面。然后再双击所需的报表,才能够重新设置时间,调阅新的报表。

注意:不单击【关闭】钮,返回到三级子菜单界面,是无法查看新的报表的。

在检查预览的报表正确无误后,单击屏幕左上角的【×】号,退出报表到图 5-1 所示的界面。然后,检查连接好打印机,最后单击【打印】钮,即可将报表从宽行打印机上输出。

### 5.2.3 统计台账的汇总方式与灵活应用

统计台账的数据汇总包括月统计、季度统计、半年统计和年统计等4种方式。

在月统计中,由于每天的数据不断向月统计汇总,因此,在一个月未满时,即是截至该天的汇总数据。此数据对于了解完成当月计划进度情况是十分有用的。灵活应用这些数据可以减少许多手工计算的工作量。

## 5.3 整理记录1的操作使用

### 5.3.1 生铁产量完成情况表

在【整理记录1】子菜单下,双击【生铁产量】,界面显示选择报表日期对话框。输入所需查阅的月份,单击【预览】钮,即可得到表5-1:生铁产量完成情况表。表5-1栏目包括:每一天的出铁炉数、日产量、累计产量、平均日产、给铸铁量与给转炉量、出格率、合格率、优质率和品种率等的数据。

表 5-1 生铁产量完成情况表

2002 年 6 月

生铁产量完成情况

制表日期:2002 年 8 月 10 日

日期	合格铁产量								出格铁 /t	合格率 /%	品种 率/%	一级品 率/%
	出铁 炉数	计划 /t	实 产 /t	累计 /t	±量 /t	平均日产 /t	给铸铁量 /t	给转炉量 /t				
6月1日	13		1 880.12	1 880.12		1 880.12		1 880.13	0.00	100.00		69.46
6月2日	13		1 885.22	3 765.34		1 882.67		1 875.54	0.00	100.00		40.42
6月3日	13		1 860.03	5 625.37		1 875.12		1 860.05	0.00	100.00		91.54
6月4日	13		1 980.20	7 605.58		1 901.40		1 980.22	0.00	100.00		63.10
6月5日	13		1 997.04	9 602.62		1 920.52		1 997.04	0.00	100.00		54.72
6月6日	13		2 052.27	11 654.88		1 942.48		2 052.25	0.00	100.00		77.43
6月7日	13		2 011.04	13 665.92		1 952.27		2 011.05	0.00	100.00		84.43
6月8日	13		2 031.00	15 696.92		1 962.12		2 031.01	0.00	100.00		74.68
6月9日	13		1 946.23	17 643.15		1 960.35	152.20	1 794.01	0.00	100.00		51.40
6月10日	13		1 983.27	19 626.42		1 962.54		1 983.27	0.00	100.00		74.73
6月11日	13		1 929.02	21 555.44		1 959.59		1 929.02	0.00	100.00		49.32
6月12日	13		1 962.61	23 518.06		1 959.84		1 962.61	0.00	100.00		44.79
6月13日	12		1 714.02	25 232.07		1 940.93		1 714.02	0.00	100.00		78.61
6月14日	13		1 991.74	27 223.81		1 944.56		1 991.72	0.00	100.00		34.60
6月15日	13		1 897.93	29 121.74		1 941.45		1 897.94	0.00	100.00		60.28
6月16日	13		1 883.20	31 004.93		1 937.81		1 883.21	0.00	100.00		70.41
6月17日	13		1 904.75	32 909.68		1 935.86		1 904.74	0.00	100.00		36.31

续表 5-1

日期	合格铁产量								出格铁 /t	合格率 /%	品种 率/%	一级品 率/%
	出铁计划 炉数	计划 /t	实 产 /t	累 计 /t	±量 /t	平均日产 /t	给铸铁量 /t	给转炉量 /t				
6月18日	13		1 968.97	34 878.65		1 937.70		1 968.96	0.00	100.00		32.78
6月19日	13		1 933.04	36 811.69		1 937.46		1 933.04	0.00	100.00		74.25
6月20日	13		2 038.89	38 850.58		1 942.53		2 038.89	0.00	100.00		90.51
6月21日	12		1 811.75	40 662.33		1 936.30		1 794.73	0.00	100.00		58.44
6月22日	13		2 075.48	42 737.81		1 942.63		2 075.47	0.00	100.00		18.49
6月23日	13		2 048.46	44 786.27		1 947.23		2 048.46	0.00	100.00		92.59
6月24日	13		1 974.39	46 760.66		1 948.36		1 974.39	0.00	100.00		77.17
6月25日	13		2 033.98	48 794.64		1 951.79		2 033.99	0.00	100.00		70.04
6月26日	13		2 073.84	50 868.49		1 956.48		2 073.82	0.00	100.00		41.14
6月27日	13		2 160.09	53 028.58		1 964.02		2 160.09	0.00	100.00		45.55
6月28日	13		2 030.37	55 058.95		1 966.39		2 030.37	0.00	100.00		43.86
6月29日	13		1 992.82	57 051.57		1 967.30		1 992.62	0.00	100.00		20.39
6月30日	13		2 011.90	59 063.47		1 968.78		2 011.88	0.00	100.00		29.46

### 5.3.2 主要冶炼指标和生铁成分表

在【整理记录 1】子菜单下,双击【冶炼指标与生铁成分】,界面显示选择报表日期对话框。输入需查阅的月份,单击【预览】钮,即可得到表 5-2 主要冶炼指标与生铁成分表。

在表 5-2 中可以查阅到主要冶炼指标有:利用系数,冶炼强度,入炉焦比,折合焦比,焦炭负荷,入炉品位;生铁的主要成分:[Si]的最大值、最小值、平均值,[S]的最大值、最小值、平均值和[Mn]、[P]平均值。如果需要打印,则单击屏幕左上角的【×】号返回到图 5-1 的界面。连接好打印机,单击【打印】钮,即可打印出表 5-2。

### 5.3.3 炉渣分析及渣量表

在【整理记录 1】子菜单下,双击【炉渣分析及渣量表】,界面显示选择报表日期对话框。输入所需查阅的月份,单击【预览】钮,即可得到表 5-3 炉渣分析及渣量表。



表 5-2 主要冶炼指标和生铁成分表

制表日期:2002年8月10日

主要冶炼指标和生铁成分

2002年6月

日期	主要冶炼指标					生铁成分 /%								
	利用系数 $t/(m^3 \cdot d)^{-1}$	冶炼强度 $t/(t \cdot (m^3 \cdot d)^{-1})$	入炉焦比 $/kg \cdot t^{-1}$	折合焦比 $/kg \cdot t^{-1}$	焦炭负荷	入炉品位 /%	S 最 小值	S 最 大值	S 平 均值	Mn	P	S 最 小值	S 最 大值	S 平 均值
6月1日	2.55	0.93	367.00	367.00	4.48	60.33	0.46	0.64	0.51	0.24		0.013	0.036	0.026
6月2日	2.51	0.83	257.00	257.00	4.14	60.24	0.34	1.22	0.50	0.23		0.010	0.058	0.034
6月3日	2.53	0.90	355.00	355.00	4.42	60.42	0.35	0.95	0.59	0.24		0.010	0.036	0.021
6月4日	2.70	0.96	361.00	361.00	4.35	60.46	0.35	0.72	0.50	0.24		0.018	0.048	0.029
6月5日	2.72	0.96	356.00	356.00	4.49	60.19	0.26	0.52	0.40	0.22		0.021	0.060	0.032
6月6日	2.79	0.93	332.00	332.00	4.48	59.89	0.32	0.55	0.44	0.23		0.019	0.042	0.027
6月7日	2.69	0.93	345.00	345.00	4.48	59.99	0.33	0.60	0.46	0.24		0.012	0.042	0.025
6月8日	2.76	0.98	356.00	356.00	4.48	60.16	0.32	0.60	0.47	0.25		0.010	0.036	0.026
6月9日	2.62	0.93	363.00	363.00	4.46	60.29	0.32	0.58	0.43	0.23	0.08	0.019	0.061	0.034
6月10日	2.74	0.97	365.00	365.00	4.38	59.83	0.33	0.62	0.44	0.24		0.016	0.035	0.026
6月11日	2.63	0.95	360.00	360.00	4.06	59.95	0.32	0.68	0.45	0.24		0.016	0.037	0.030
6月12日	2.60	0.95	364.00	364.00	4.21	60.07	0.33	0.59	0.45	0.24		0.020	0.049	0.031
6月13日	2.59	0.90	357.00	357.00	4.25	59.98	0.32	0.69	0.49	0.24		0.016	0.046	0.028
6月14日	2.71	0.95	351.00	351.00	4.51	60.17	0.33	0.52	0.41	0.23		0.020	0.045	0.033

续表 5-2

日期	主要冶炼指标					生铁成分 /%								
	利用系数 $t \cdot (m^3 \cdot d)^{-1}$	冶炼强度 $t \cdot (m^3 \cdot d)^{-1}$	入炉焦比 $/kg \cdot t^{-1}$	折合焦比 $/kg \cdot t^{-1}$	焦炭负荷	入炉品位 /%	S 最 小值	S 最 大值	S 平 均值	Mn	P	S 最 小值	S 最 大值	S 平 均值
6月15日	2.54	0.89	350.00	350.00	4.51	60.31	0.39	0.61	0.50	0.24		0.018	0.040	0.027
6月16日	2.53	0.90	357.00	357.00	4.53	60.16	0.40	0.68	0.49	0.24		0.020	0.037	0.027
6月17日	2.58	0.93	362.00	362.00	4.43	60.02	0.34	0.53	0.42	0.23		0.020	0.056	0.035
6月18日	2.64	0.91	342.00	342.00	4.21	59.97	0.34	0.48	0.41	0.23		0.022	0.054	0.036
6月19日	2.58	0.92	356.00	356.00	4.53	60.07	0.36	0.63	0.48	0.24		0.022	0.054	0.031
6月20日	2.77	0.96	343.00	343.00	4.52	59.90	0.35	0.61	0.46	0.24		0.015	0.032	0.023
6月21日	2.59	0.91	347.00	347.00	4.57	60.14	0.38	1.06	0.59	0.23		0.016	0.053	0.030
6月22日	2.75	0.98	355.00	355.00	4.60	59.75	0.32	0.42	0.36	0.23		0.028	0.056	0.036
6月23日	2.79	0.95	339.00	339.00	4.60	60.04	0.40	0.64	0.47	0.25		0.022	0.032	0.025
6月24日	2.70	0.94	347.00	347.00	4.65	60.27	0.32	0.76	0.49	0.25		0.020	0.038	0.026
6月25日	2.74	0.91	334.00	334.00	4.71	59.96	0.30	0.59	0.45	0.24		0.016	0.051	0.027
6月26日	2.79	0.94	336.00	336.00	4.69	60.44	0.24	0.60	0.36	0.23		0.020	0.075	0.040
6月27日	3.01	0.93	179.00	179.00	4.66	60.14	0.24	0.84	0.40	0.23		0.016	0.048	0.033
6月28日	2.73	0.72	98.00	98.00	4.66	60.21	0.30	0.49	0.37	0.23		0.020	0.057	0.034
6月29日	2.67	0.95	355.00	355.00	4.63	60.39	0.28	0.57	0.40	0.22		0.026	0.062	0.039

表 5-3 炉渣分析及渣量表

炉渣分析及流量																		制表日期:2002年8月10日																	
日期	炉 渣 分 析 /%							R <sub>2</sub> 最小值		R <sub>2</sub> 最大值		R <sub>2</sub> 平均值		R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	总流量 /t	上流量 /t	渣铁比 /kg·t <sup>-1</sup>																	
	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	FeO	S																												
6月1日	32.69	37.25	16.40	11.31	0.16	0.42	1.09			1.09	1.20	1.14	1.17																						
6月2日	32.69	37.20	15.32	10.73	0.32	0.35	1.09			1.07	1.30	1.14	1.16																						
6月3日	30.96	38.11	17.59	11.24	0.09	0.32	1.11			1.11	1.35	1.23	1.26																						
6月4日	32.76	37.33	15.18	10.94	.16	0.35	0.93			1.07	1.20	1.14	1.17																						
6月5日	33.35	37.81	14.66	10.65	0.25	0.41	0.96			1.05	1.21	1.14	1.16																						
6月6日	34.22	37.41	14.85	10.62	.20	0.48	0.89			1.05	1.13	1.09	1.12																						
6月7日	32.76	37.84	15.30	11.04	.20	0.47	0.99			1.10	1.26	1.16	1.18																						
6月8日	32.58	37.81	15.04	11.77	0.16	0.40	1.03			1.09	1.25	1.16	1.19																						
6月9日	33.33	37.16	14.93	11.06	0.25	0.40	0.96			1.05	1.18	1.12	1.14																						
6月10日	32.40	37.70	14.87	12.14	0.17	0.35	1.06			1.08	1.20	1.17	1.19																						
6月11日	33.10	37.72	15.25	10.37	0.24	0.43	1.03			0.99	1.18	1.14	1.16																						
6月12日	33.86	37.00	15.33	11.00	0.16	0.63	0.98			0.86	1.16	1.10	1.12																						
6月13日	33.03	37.42	15.00	10.56	0.16	0.50	1.01			1.02	1.28	1.14	1.16																						
6月14日	33.48	37.43	14.86	11.04	0.19	0.39	1.04			1.07	1.18	1.12	1.14																						
6月15日	32.14	38.44	15.30	10.80	0.15	0.51	1.01			1.12	1.24	1.20	1.22																						

续表 5-3

日期	炉 渣 分 析 /%					$R_2$ 最小值	$R_2$ 最大值	$R_2$ 平均值	$R_3$	$R_4$	总流量 /t	上流量 /t	渣铁比 /kg·t <sup>-1</sup>
	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	MnO	FeO	S						
6月16日	32.64	38.13	15.11	10.97	0.15	0.32	0.99	1.11	1.28	1.17	1.20		
6月17日	33.41	37.37	15.15	10.58	0.18	0.70	0.97	1.08	1.17	1.12	1.14		
6月18日	33.19	37.23	15.08	10.81	0.24	0.38	1.02	1.09	1.16	1.12	1.15		
6月19日	32.61	37.27	15.81	11.10	0.18	0.40	1.10	1.07	1.20	1.14	1.17		
6月20日	31.60	38.31	15.28	11.33	0.16	0.40	1.06	1.18	1.29	1.21	1.24		
6月21日	32.06	37.97	15.11	10.88	0.19	0.41	1.11	1.15	1.27	1.19	1.21		
6月22日	32.51	38.06	14.61	10.62	0.29	0.49	1.09	1.16	1.20	1.17	1.20		
6月23日	32.52	37.97	14.87	10.77	0.17	0.45	1.18	1.13	1.18	1.17	1.19		
6月24日	32.52	37.60	16.51	10.74	0.63	0.44	1.14	1.09	1.19	1.15	1.18		
6月25日	32.20	37.90	15.48	11.32	0.15	0.40	1.18	1.09	1.24	1.18	1.20		
6月26日	33.47	36.96	14.67	10.80	0.38	0.41	1.02	1.00	1.25	1.11	1.13		
6月27日	32.90	37.44	15.38	10.87	0.22	0.33	0.89	1.10	1.18	1.14	1.17		
6月28日	33.65	37.31	15.10	10.81	0.20	0.37	0.97	1.01	1.19	1.11	1.13		
6月29日	33.14	37.81	14.97	10.94	0.17	0.35	0.97	1.09	1.20	1.14	1.17		
6月30日	33.72	37.64	14.82	10.49	0.21	0.32	1.02	1.10	1.16	1.12	1.14		

在表 5-3 中,炉渣分析成分有:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{S}$ ; 二元碱度  $R_2$  的最小值、最大值、平均值; 三元碱度  $R_3$ ; 以及总渣量、上渣量和渣铁比。

预览完毕,单击屏幕左上角的【×】号返回到图 5-1 所示的界面。

如果需要打印,连接好打印机,单击【打印】钮,即可打印出表 5-3。

### 5.3.4 送风制度调剂情况表

在【整理记录 1】子菜单下,双击【下部送风制度调剂情况】,界面显示选择报表日期对话框。输入所需查阅的月份,单击【预览】钮,即可得到表 5-4 送风制度调剂情况表。表 5-4 栏目包括:风量、风压、风速(下限、上限、均值)、顶温、顶压、压差、透气性指数、风速、鼓风动能等 11 项参数。

表 5-4 下部送风制度调剂情况表

2002 年 6 月                      下部送风制度调剂情况      制表日期:2002 年 8 月 10 日

日期	风量 /m <sup>3</sup> · min <sup>-1</sup>	风压 /kPa	使用 风机	风速/℃			炉顶压 力/kPa	炉顶温 度/℃	压差 /kPa	透气性 指数	风速 /m· s <sup>-1</sup>	鼓风动 能/J· s <sup>-1</sup>
				范 围		平均						
				下	上							
6月1日	1 698	222		987	1 034	1 011	113	195	109	15.56	156	5 976
6月2日	1 616	217		894	1 042	1 007	115	183	101	15.88	148	5 348
6月3日	1 648	214		881	1 026	983	118	169	96	17.04	151	5 583
6月4日	1 698	223		978	1 029	1 006	118	192	104	16.29	156	5 962
6月5日	1 711	222		995	1 034	1 015	117	190	104	16.37	157	6 160
6月6日	1 730	223		989	1 034	1 009	118	183	104	16.58	159	6 288
6月7日	1 719	222		983	1 023	1 006	116	171	106	16.16	158	6 140
6月8日	1 703	222		985	1 025	1 006	116	194	106	15.95	156	5 975
6月9日	1 706	222		973	1 018	1 000	118	191	104	16.41	157	5 957
6月10日	1 724	222		993	1 022	1 006	118	198	103	16.66	158	6 216
6月11日	1 714	221		983	1 018	1 003	117	191	103	16.51	157	6 124
6月12日	1 688	224		983	1 020	1 000	117	197	106	15.89	155	5 733
6月13日	1 502	199		946	1 020	996	112	196	100	15.76	138	5 416
6月14日	1 697	225		986	1 027	1 004	117	189	108	15.67	156	5 791
6月15日	1 674	226		946	1 020	999	116	197	109	15.32	154	5 512
6月16日	1 688	224		976	1 019	1 000	115	208	108	15.55	155	5 702
6月17日	1 701	224		977	1 018	999	118	202	106	16.03	156	5 834
6月18日	1 697	225		979	1 030	1 010	118	210	107	15.80	156	5 838
6月19日	1 701	222		982	1 031	1 008	116	189	105	16.13	156	6 001

续表 5-4

日期	风量 /m <sup>3</sup> · min <sup>-1</sup>	风压 /kPa	使用 风机	风温/℃			炉顶压 力/kPa	炉顶温 度/℃	压差 /kPa	透气性 指数	风速 /m· s <sup>-1</sup>	鼓风动 能/J· s <sup>-1</sup>
				范 围		平均						
				下	上							
6月20日	1 757	223		968	1 022	1 001	118	198	105	16.73	161	6 492
6月21日	1 552	200		960	1 031	1 000	113	179	100	16.78	142	5 938
6月22日	1 743	223		961	1 032	1 004	117	178	106	16.42	160	6 350
6月23日	1 721	225		985	1 025	1 007	117	193	107	15.99	158	6 094
6月24日	1 730	225		990	1 038	1 013	117	190	107	16.15	159	6.243
6月25日	1 697	223		987	1 014	1 003	116	184	107	15.82	156	5 854
6月26日	1 759	223		989	1 017	1 003	118	194	105	16.67	162	6 516
6月27日	1 732	221		1 000	1 020	1 010	118	169	103	16.78	159	6 403

预览完毕,单击屏幕左上角的【×】号返回到图 5-1 所示的界面。

如果需要打印,连接好打印机,单击【打印】钮,即可打印出表 5-4。

## 5.4 整理记录 2 的操作使用

### 5.4.1 入炉原燃料成分表

在【整理记录 2】子菜单下,双击【入炉原燃料成分】,界面显示选择报表日期对话框。输入所需查阅的月份,单击【预览】钮,即可得到表 5-5 入炉原燃料成分表。

表 5-5 入炉原燃料成分表

2002 年 6 月

入炉原燃料成分

制表日期:2002 年 8 月 10 日

日期	焦炭成分/%						烧结矿成分/%						白云石成分/%		
	灰分	挥发分	S	水分	M <sub>40</sub>	M <sub>10</sub>	TFe	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO	R <sub>2</sub>	粉末	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO
6月1日	11.70		0.62	4.00			58.65	8.00	3.91	8.59	2.20				
6月2日	11.76		0.62	4.00			58.45	7.66	3.94	8.72	2.21				
6月3日	11.77		0.58	4.00			58.49	7.46	3.96	8.66	2.19				
6月4日	11.70		0.58	5.00			58.42	7.27	3.93	8.67	2.21				
6月5日	11.82		0.57	3.00			58.25	6.97	3.97	8.88	2.24				
6月6日	11.12		0.60	4.00			58.43	8.31	3.97	8.69	2.19				
6月7日	11.22		0.58	4.40			58.63	7.92	3.90	8.53	2.19				
6月8日	11.67		0.61	4.00			58.67	8.38	3.93	8.48	2.16				
6月9日	11.33		0.60	4.00			58.77	8.09	3.90	8.50	2.18				
6月10日	11.18		0.62	6.00			58.47	8.11	3.99	8.66	2.17				

续表 5-5

日期	焦炭成分/%						烧结矿成分/%						白云石成分/%		
	灰分	挥发分	S	水分	M <sub>40</sub>	M <sub>10</sub>	TFe	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO	R <sub>2</sub>	粉末	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO
6月11日	11.35		0.59	5.80			58.60	8.15	3.96	8.56	2.16				
6月12日	11.60		0.59	3.40			58.45	7.57	4.09	8.69	2.13				
6月13日	11.81		0.65	4.60			58.33	7.93	3.99	8.79	2.20				
6月14日	11.40		0.62	4.00			58.35	8.43	4.01	8.70	2.17				
6月15日	11.65		0.58	3.80			58.33	7.80	4.07	8.78	2.16				
6月16日	11.26		0.63	4.00			58.30	8.72	4.05	8.78	2.17				
6月17日	11.87		0.59	4.40			58.26	8.12	4.05	8.76	2.17				
6月18日	11.77		0.56	5.40			58.37	8.28	3.99	8.63	2.17				
6月19日	11.75		0.58	3.20			58.47	8.07	4.07	8.59	2.11				
6月20日	11.70		0.60	4.40			58.20	8.76	4.03	8.85	2.20				
6月21日	11.45		0.60	4.20			58.35	8.96	4.06	8.73	2.15				
6月22日	12.00		0.58	4.60			57.88	9.01	4.11	9.08	2.21				
6月23日	11.67		0.60	5.60			58.24	9.07	3.98	8.87	2.23				
6月24日	11.35		0.60	5.40			58.57	8.59	3.89	8.63	2.22				
6月25日	11.37		0.60	6.00			58.20	7.95	4.02	8.84	2.20				
6月26日	11.73		0.61	3.00			58.68	8.96	4.15	8.43	2.03				
6月27日	11.54		0.55	4.00			58.92	8.65	3.96	8.37	2.11				
6月28日	11.90		0.57	5.00			58.92	8.84	3.99	8.44	2.11				
6月29日	11.99		0.58	4.60			58.78	8.26	3.97	8.51	2.14				
6月30日	11.98		0.63	5.20			58.92	8.57	3.97	8.29	2.09				

入炉原燃料成分表的栏目包括:焦炭成分:灰分、挥发分、S、水分、M<sub>40</sub>、M<sub>10</sub>,烧结矿成分:TFe、FeO、SiO<sub>2</sub>、CaO、R<sub>2</sub>和粉末,白云石成分:CaO、SiO<sub>2</sub>和MgO。

#### 5.4.2 高炉原燃料消耗情况表

在【整理记录2】子菜单下,双击【高炉原燃料消耗】,界面显示选择报表日期对话框。输入所需查阅的月份,单击【预览】钮,即可得到表5-6高炉原燃料消耗表。表5-6的栏目包括:烧结矿(机烧)、球团矿、生矿、矿石合计、焦炭(机焦)切焦、焦炭合计、白云石、锰矿、废铁、萤石、其他、矿石单耗、熔剂单耗、废铁单耗等15项栏目。

#### 5.4.3 高炉煤气分析表

在【整理记录2】子菜单下,双击【高炉煤气分析】,界面显示选择报表日期对话框。输入所需查阅的月份,单击【预览】钮,即可得到表5-7所示的高炉煤气分析表。

表 5-6 高炉原燃料消耗表

2002 年 6 月		高炉原燃料消耗											制表日期:2002 年 8 月 10 日			
日 期	矿石消耗/t					焦炭消耗/t			辅助材料消耗/t					矿石单耗/t	熔剂单耗/t	废铁单耗/t
	机烧	机烧 2	生矿	球团	合计	机焦	切焦	合计	白云石	锰矿	废生铁	萤石	其他			
6 月 1 日	2 225		239	671	3 136	699		699						1.65		
6 月 2 日	1 396		121	447	1 966	475		475						1.04		
6 月 3 日	2 126		777	72	2 976	672		672						1.59		
6 月 4 日	2 218		868	31	3 118	716		716						1.56		
6 月 5 日	2 328		781	110	3 220	717		717						1.60		
6 月 6 日	2 309			804	3 114	695		695						1.50		
6 月 7 日	2 292			821	3 114	695		695						1.54		
6 月 8 日	2 371			940	3 312	738		738						1.62		
6 月 9 日	2 313		491	324	3 130	701		701						1.60		
6 月 10 日	2 334			827	3 162	722		722						1.58		
6 月 11 日	2 134			767	2 901	716		716						1.49		
6 月 12 日	2 178		307	499	2 985	711		711						1.51		
6 月 13 日	1 877		90	669	2 637	620		620						1.53		
6 月 14 日	2 259		376	563	3 200	709		709						1.59		
6 月 15 日	2 132		729	145	3 008	666		666						1.57		



续表 5-6

日期	矿石消耗/t				焦炭消耗/t			辅助材料消耗/t					矿石单耗/t	熔剂单耗/t	废铁单耗/t
	机烧	机烧2	生矿	球团	合计	机焦	切焦	合计	白云石	锰矿	废生铁	萤石	其他		
6月16日	2 141		391	522	3 056	674		674						1.61	
6月17日	2 182		247	664	3 093	698		698						1.61	
6月18日	2 060		213	600	2 874	681		681						1.45	
6月19日	2 256		261	583	3 102	685		685						1.59	
6月20日	2 273		233	697	3 204	708		708						1.56	
6月21日	2 093		466	347	2 908	636		636						1.61	
6月22日	2 398		373	594	3 366	731		731						1.61	
6月23日	2 299		266	720	3 286	714		714						1.59	
6月24日	2 279		252	714	3 246	698		698						1.63	
6月25日	2 310		327	548	3 186	676		676						1.55	
6月26日	2 393		664	236	3 294	702		702						1.71	
6月27日	1 299		106	339	1 746	374		374						1.80	
6月28日	750		61	196	1 008	216		216						1.49	
6月29日	2 431		658	202	3 292	710		710						1.64	
6月30日	2 405		439	324	3 169	683		683						1.56	

表 5-7 高炉煤气分析表

日期	高炉煤气全分析/%							炉喉 CO <sub>2</sub> 分布/%			除尘器 灰量/t	净煤气 压力/kPa
	CO <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> /CO	CO <sub>2</sub> /(CO+CO <sub>2</sub> )	边沿	中心	差值	
2001 年 3 月												
3 月 1 日	14.60	22.80	0.60	0.90	1.40	59.70	64.09	39.04	10.15	14.45	-4.30	
3 月 2 日	13.80	23.30	0.80	0.80	1.40	59.80	59.25	37.20	9.95	13.63	-3.68	
3 月 3 日	14.20	22.60	0.70	0.90	1.40	60.20	62.90	38.60	9.75	14.25	-4.50	
3 月 4 日	14.40	22.80	0.90	0.80	1.40	59.70	63.17	38.71	10.40	13.80	-3.40	
3 月 5 日	14.80	22.30	0.90	0.80	1.40	59.80	66.39	39.90	10.60	14.00	-3.40	
3 月 6 日	15.20	21.90	0.90	1.00	1.20	59.80	69.41	40.97	11.28	14.00	-2.72	
3 月 7 日	15.20	22.40	0.90	0.80	1.40	59.30	67.85	40.42	11.23	14.58	-3.35	
3 月 8 日	14.70	22.50	0.80	0.90	1.30	58.70	65.34	39.52	11.55	14.35	-2.80	
3 月 9 日	14.90	22.30	0.90	1.00	1.40	59.60	66.77	40.03	10.15	14.13	-3.98	
3 月 10 日	14.90	22.20	0.90	0.90	1.30	59.80	67.13	40.16	10.95	15.28	-4.33	
3 月 11 日	14.70	22.30	1.00	0.90	1.40	59.70	65.95	39.73	10.55	14.45	-3.90	
3 月 12 日	14.30	22.70	0.90	1.00	1.40	59.70	63.04	38.64	10.30	13.55	-3.25	
3 月 13 日	14.60	22.50	0.90	0.90	1.40	59.70	64.91	39.36	10.25	14.18	-3.93	
3 月 14 日	14.40	22.80	0.80	0.90	1.20	59.90	63.17	38.71	10.73	14.10	-3.37	
3 月 15 日	14.50	22.60	0.90	1.00	1.20	59.80	64.16	39.09	10.28	14.18	-3.90	

制表日期:2001 年 6 月 11 日

高炉煤气分析

续表 5-7

日期	高炉煤气全分析/%								炉喉 CO <sub>2</sub> 分布/%		除尘器 灰量/t	净煤气 压力/kPa
	CO <sub>2</sub>	CO	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> /CO	CO <sub>2</sub> /(CO+CO <sub>2</sub> )	边沿	中心		
3月16日												
3月17日	15.00	22.20	0.80	0.90	1.20	59.90	67.57	40.33	10.48	15.00	-4.52	
3月18日	14.60	22.50	0.90	1.00	1.40	59.60	64.96	39.36	10.68	13.93	-3.25	
3月19日	14.50	22.60	0.70	1.00	1.40	59.60	64.17	39.09	10.63	14.20	-3.57	
3月20日	15.20	22.00	0.80	1.00	1.40	59.60	69.10	40.86	10.70	15.13	-4.43	
3月21日	14.80	22.70	1.00	0.90	1.30	59.30	65.29	39.48	10.33	14.20	-3.87	
3月22日	14.80	22.40	0.80	0.80	1.60	59.60	66.07	39.78	9.30	13.75	-4.45	
3月23日	14.40	22.80	0.80	1.00	1.40	59.60	63.17	38.71	10.30	13.90	-3.60	
3月24日	14.00	23.30	0.70	0.90	1.50	59.60	60.15	37.54	10.43	13.93	-3.50	
3月25日	14.80	22.40	0.80	0.90	1.30	59.80	66.08	39.79	10.33	13.88	-3.55	
3月26日	14.60	22.40	1.00	0.90	1.30	59.80	65.19	39.46	10.65	13.78	-3.13	
3月27日	14.50	22.50	1.00	0.90	1.20	59.90	64.45	39.19	10.25	13.58	-3.33	
3月28日	13.40	23.80	0.80	1.00	1.40	59.60	56.30	36.02	10.10	13.50	-3.40	
3月29日	14.90	22.70	0.90	1.00	1.30	59.20	65.68	39.64	10.05	13.85	-3.80	
3月30日	14.60	22.00	0.90	1.00	1.20	60.30	66.36	39.88	10.20	14.45	-4.25	
3月31日	14.80	22.40	0.80	0.90	1.20	59.90	66.11	39.79	12.58	12.65	-0.07	



高炉煤气分析表的栏目包括 13 项。其中:高炉煤气全分析成分参数 8 项,即  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CO}_2/\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2/(\text{CO} + \text{CO}_2)$ ;炉喉  $\text{CO}_2$  成分参数 3 项:边沿平均值、中心值、边沿中心差值以及除尘器灰量、净煤气压力。

## 5.5 月统计台账的操作使用

在【报表】菜单下,单击【月统计台账】前面的【+】号,即可展开月统计台账的子菜单。共分 3 页:【月台账 1】、【月台账 2】、【月台账 3】。

### 5.5.1 月台账 1 的操作使用

在【月统计台账】子菜单下,双击【月台账 1】,界面显示选择报表日期对话框。输入所需查阅的月份,单击【预览】钮,即可得到表 5-8 所示的产量质量消耗统计台账。

在表 5-8 中,产量一栏有【计划】项。它是手工输入的。其操作步骤是:在【月统计台账】子菜单界面下,双击【月台账 1】,此时屏幕显示选择报表日期对话框。单击其中的【计划】钮(显示出新界面后它变成【返回】钮),则显示图 5-2 的界面。



图 5-2 月台账 1 的计划产量手工输入界面

在图 5-2 界面下,按月份输入 1~12 月的计划产量,单击【保存计划】钮,则设置好全年的月产量计划。然后单击【返回】钮,界面返回选择报表日期对话框。设定好日期,单击【预览】钮,即可得到【月台账第 1 页】,即表 5-8 的产量质量消耗统计台账。它包括 14 个栏目:计划产量、实际产量、日产量,完成计划的百分比和增减量,质量的合格率、出格率优质品率和品种率,焦炭的总耗量与单耗,矿石的总耗



量、单耗和日均消耗等。

在计划完成百分比一栏中,当月截至任意一天的百分数,就是当月截至该日的累计产量占全月计划产量的百分比。因此,该栏目对于检查计划完成情况是十分方便的。

### 5.5.2 月台账 2 的操作使用

在【月统计台账】子菜单下,双击【月台账 2】,界面显示选择报表日期对话框。输入所需查阅的月份,单击【预览】钮,即可得到表 9 作业情况及炉况故障统计台账。

表 5-9 所列的统计项目中,有一些是工长必须在相应的数据库输入信息之后,计算机才能够进行汇总。如损坏风口个数、损坏渣口个数,必须在更换风口作业完成后及时把更换的有关信息输入到风口更换表中,计算机才能够进行月统计。否则,计算机统计结果必然不符合实际情况。

### 5.5.3 月台账 3 的操作使用

在【月统计台账】子菜单下,双击【月台账 3】,界面显示选择报表日期对话框。输入所需查阅的月份,单击【预览】钮,即可得到表 5-10 原燃料与煤气成分统计台账。

原燃料与煤气成分统计台账的统计栏目包括:内控合格率,机烧的  $\text{TFe}$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO}$ ,球团矿的  $\text{TFe}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO}$ ,生矿的  $\text{TFe}$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO}$ ,煤气成分的  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{N}_2$ ,以及熟料率、机烧率、球团率等 20 项。

预览完毕,则单击屏幕左上角的【×】号返回到图 5-1 所示的界面。

如果需要打印,则连接好打印机,单击【打印】钮,即可打印出表 5-10。

综合以上对计算机管理各类汇总台账、统计报表的说明,我们看到:高炉作业管理报表的计算、汇总、整理、填写是大夜班值班工长的一项重要工作,每天需要花费 2~3h 才能完成。现在通过“专家系统”的【管理报表】模块自动化地完成了。显然,这大大提高了值班工长的作业管理工作效率。其效果是让工长有更多的时间来思考和分析高炉过程的优化控制,进一步改善高炉的技术经济指标。因此,正如一位钢铁公司经理所总结的:“专家系统”实现了高炉作业管理的“办公自动化”。

我们的时代是知识经济的时代,是信息时代,是数字化时代。“智能控制专家系统”通过对高炉冶炼过程数据与信息的深入处理,总结冶炼过程的优化规律,成为高炉工长、炉长、炼铁工程师完成生产操作、进行技术分析、实现优化控制与自动化管理的得力工具,同时也为炼铁厂长的优化决策提供可靠的数量化依据。因此,完全可以相信,随着“专家系统”的深入应用,高炉的各项技术经济指标必然攀登新的台阶。





## 5.6 高炉操作日志

### 5.6.1 关于“高炉操作日志”的说明

在发挥计算机数据资源共享优势,提高高炉生产的现代化管理水平中,利用计算机整理“高炉作业日志”是减轻工长日常繁琐、重复的脑力劳动,提高工作效率的重要方面。

根据计算机与打印机的特点,一大张“高炉作业日志”是不可能直接由计算机打印出来的。因此必须把“高炉作业日志”大报表按照工艺参数分类分解成计算机能够打印的小报表。本节择其重要部分编成5张“高炉操作日报”,可由计算机进行汇总、打印。这样,工长只要正确输入数据库的信息,操作日报就能够自动正确地计算生成。只要原始数据齐全、正确,那么“高炉操作日报”统计汇总的数据就一定正确。工长不必自己动手按计算器,就能够得到日报表。工长需要看这些数据,只要输入查询的时间,就可得到所需数据。从而节省了工长手工计算的时间与精力,使他们有更多时间应用专家系统进行工艺过程的优化分析。

“高炉操作日报”的数据处理与汇总有5类情况:

(1) 按照小时正点时刻汇总的数据。这些数据是从原始采集的秒级数据,汇总成分钟级数据,然后按照60min求均值或总和。显然,这样的60min平均数与工长原来从仪表上按照正点时间抄下来的瞬时值数据是不同的。现在的数据更准确、可靠。

(2) 按班别(8h)汇总的数据(即8h的均值或总和)。这是分班统计的数据。对部分参数,如温度、压力、成分等,是求8h的平均值。对另一类参数,则是求和,如产量、耗量等,求8h的总和。

(3) 按日(24h)汇总的数据。这是每一天的汇总数据。与班别汇总数据一样,某些参数求均值,另一些则是求和。这样汇总得到的数据与数据库日统计数据表是一样的。

(4) 按日实际发生的数据进行汇总。如入炉矿的化验数据,一般为每班3~4次化验。

(5) 按炉次进行统计汇总。如出铁出渣的数据。

由上述说明可知,由计算机管理的“高炉操作日报”的数据汇总比起原来工长手工整理的“高炉作业日志”数据更加准确、精细,可靠性更高。

另外,“高炉作业日志”的其他一些记录,如交班记录等,在数据库中已有【值班记录表】等,因此不在“高炉操作日报”中汇总。

“高炉操作日报”在一般情况下供查阅。如果需要打印,则必须预置好打印机与打印纸,在联机状态下,在调出的报表界面上方单击【打印机】钮,即可打印出所调阅的报表。

单击【高炉操作日志】前的【+】号,展开3级子菜单,包括:【作业日志】、【出铁情况】、【矿石分析】、【炉料配比】和【风口状态】。

进入各项报表后,由于屏幕界面的限制,只能看到部分报表界面。如果要看整张报表,就需要调整报表显示的比例,从100%缩小为75%,就能够看到全幅的报表了。

### 5.6.2 高炉送风作业日报表(高炉送风作业及本体温度日报)

在【高炉操作日志】子菜单下,双击【作业日志】,屏幕上即显示【高炉送风作业日报表】,如表5-11所示。该表是按照每天24h汇总的统计日报。

高炉送风作业日报表包括手工记录的“高炉作业日志”左上角的各项栏目。这些栏目有:正点时间、料批数、累计、风量、风压、风温、顶压、压差、透气性指数、富氧量、富氧压力以及气密箱温度、 $N_2$ 流量、压力、炉顶温度(4点)、炉身温度(6点)、炉基温度(3点)以及喷煤速率、压力等共计30多项参数。

### 5.6.3 出铁情况日报表

在【高炉操作日志】子菜单下,双击【出铁情况】,屏幕上即显示高炉出铁情况日报表,如表5-12所示。该表是按照每天12炉出铁,按炉统计汇总的日报表。

表5-12的栏目包括:炉号、出铁开始时间、结束时间、铁口深度、角度、打泥量、产量、罐数、估产、实产、铁水估计成分[Si]、[S],炉前成分[Si]、[S],出铁成分[Si]、[Mn]、[P]、[S],铁水去向:炼钢、铸铁,铁罐号1、2、3、4,下渣情况:下渣量、下渣颜色、是否出净,渣罐号1、2,炉渣分析:(CaO)、( $Al_2O_3$ )、(MgO)、(MnO)、(FeO)、(S)以及CaO/SiO<sub>2</sub>共计35项参数。

考虑到工长原来填写高炉作业日志的习惯,高炉出铁情况日报表在统计栏目及参数在报表的位置上都保持与“高炉作业日志”一致,以适应工长的作业管理习惯。

### 5.6.4 矿石分析日报表

在【高炉操作报表】子菜单下,双击【13.矿石分析】,屏幕即显示矿石分析日报表,如表5-13所示。该表是按每天3班每班1~2次化验数据,按化验次数汇总的日报表。

该表包括:报样时间,矿石名称,化学成分百分比:TF<sub>Fe</sub>,MnO,SiO<sub>2</sub>,CaO,FeO,MgO,R=CaO/SiO<sub>2</sub>,S, $Al_2O_3$ ;烧结矿粒度组成百分比:≤5mm,5~10mm,10~25mm,25~40mm,>40mm和转鼓指数,加入时间等共16项参数。

### 5.6.5 炉料配比日报表

在【高炉操作日志】子菜单下,双击【炉料配比】,屏幕上即显示请选择报表日期对话框,输入日期,点击【确定】后即得到炉料配比情况日报表,如表5-14所示。该表是按照每天实际发生的变料次数进行统计汇总的日报表。并且,每天0:00以后的第1批炉料如果延续头1天的炉料配比,则自动作为每天第1次的炉料配比。

表 5-11 高炉送风

日期:2002年8月10日

时间	装料情况				送风情况						富 氧		气密箱			
	批数	累计	程序号	空料线	风量/ $\text{m}^3/\text{min}^{-1}$	风压/ $\text{kPa}$	风温/ $^{\circ}\text{C}$	顶压/ $\text{kPa}$	透气性	压差/ $\text{kPa}$	压力/ $\text{kPa}$	流量	温度/ $^{\circ}\text{C}$	冷却水		$\text{N}_2$
				批数深度加焦										Q	$\rho$	
1	8	8			1721	224	1 017	116	15.97	107	230		29			
2	9	17			1690	223	1 010	117	15.88	106	228		29			
3	7	24			1690	222	993	117	16.21	104	228		30			
4	8	32			1683	222	1 012	116	15.81	106	228		19			
5	8	40			1688	222	1 010	117	16.05	105	228		30			
6	9	49			1703	219	1 003	118	16.76	101	225		30			
7	7	56			1673	224	1 001	117	15.66	106	230		30			
8	9	65			1709	224	1 013	117	15.99	106	229		29			
小计	65	65			1694	222	1 007	116	16.04	105	228		29			
9	8	73			1738	221	995	116	16.52	105	228		29			
10	7	80			1734	222	1 014	119	16.78	103	230		29			
11	6	86			1610	225	1 001	116	14.85	108	229		30			
12	9	95			1727	221	1 001	118	16.77	103	225		29			
13	7	102			1724	221	1 017	119	16.84	102	225		29			
14	7	109			1719	218	1 003	119	17.26	99	222		29			
15	6	115			1730	219	1 017	119	17.38	99	222		29			
16	9	124			1744	220	1 022	120	17.43	100	224		30			
小计	59	59			1715	220	1 008	118	16.73	102	225		29			
17	5	129			1676	226	1 004	115	15.13	110	228		30			
18	8	137			1753	223	1 009	120	17.06	102	228		29			
19	7	144			1765	224	1 012	122	17.27	102	229		29			
20	9	153			1784	219	996	121	18.30	97	223		29			
21	8	161			1799	221	995	122	18.19	98	235		29			
22	10	171			1776	221	1 015	121	17.82	99	234		28			
23	7	178			1780	223	997	121	17.47	101	234		29			
24	8	186			1791	222	1 006	122	17.90	100	235		30			
小计	62	62			1765	222	1 004	120	17.39	101	230		29			
合计	186	186			1725	222	1 006	118	16.72	103	228		29			

作业日报表

炉基温度/℃			炉顶温度/℃				炉身温度/℃						喷 吹			
1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	枪支 数/个	量/· h <sup>-1</sup>	变动 时间	煤粉 设定
179	135	178	234	241	238	114	77	169	112	180	102	134	17	11.96		
178	135	177	197	197	204	96	70	142	112	145	98	146	17	12.45		
177	135	177	244	245	257	126	68	135	115	171	99	179	17	14.07		
174	135	178	246	251	262	125	64	152	114	394	97	157	17	11.27		
172	135	178	237	243	251	117	67	244	112	575	91	125	17	11.56		
173	135	177	208	215	219	101	73	283	111	692	92	124	17	14.49		
173	135	177	236	248	256	122	69	275	112	737	96	126	17	15.86		
174	135	177	230	249	242	112	70	242	111	738	102	128	17	14.62		
175	135	177	229	236	241	114	69	205	112	454	97	139	17	106.28		
174	135	177	268	280	285	136	78	229	110	714	105	122	17	14.82		
175	135	177	232	242	247	117	76	252	109	723	102	115	17	12.17		
176	135	177	183	200	233	125	68	282	108	708	106	123	17	13.09		
178	135	177	235	245	255	117	74	256	114	581	109	117	17	12.76		
180	135	178	261	271	297	138	71	199	125	538	102	114	17	10.10		
181	135	178	244	244	271	126	75	223	125	591	102	109	17	13.03		
182	135	179	275	276	310	151	83	273	122	616	105	129	17	12.00		
182	135	179	214	218	233	114	87	255	119	568	104	147	17	11.81		
178	135	177	239	247	266	128	76	246	116	629	104	122	17	99.78		
182	136	179	171	197	193	99	92	258	118	612	113	146	17	12.24		
183	136	180	176	184	185	101	96	271	121	641	117	134	17	12.45		
184	136	180	193	200	216	106	103	241	124	617	119	127	17	11.79		
184	136	180	181	189	195	89	108	237	125	660	120	109	17	14.48		
184	136	179	209	221	223	100	102	249	125	735	117	109	17	12.94		
183	136	179	170	183	187	82	97	224	124	692	116	101	17	13.72		
183	136	179	195	221	212	92	93	171	121	550	114	105	17	12.91		
182	136	178	220	235	240	101	92	194	119	447	113	117	17	14.56		
183	136	179	189	203	206	96	97	230	122	619	116	118	17	105.09		
178	135	178	219	228	237	112	81	227	117	567	105	126	17	311.15		

表 5-12 高炉出铁情况月报表

日期: 2002 年 6 月 10 日

铁次	配罐时间	拉罐时间	出铁时间		角度 (°)	深度 /mm	打泥 量 /格	理论 铁量 /t	出铁产量/t		生铁成分/%						备注	炉渣成分/%						出渣时间					
			始	终					估产	实产	Si	Mn	P	S	C	SO <sub>2</sub>		CaO	MgO	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	S	CaO/ SO <sub>2</sub>	始	终	状态		
29673	0:10	1:35	0:40	1:25	13.0	1700	3	12 142	150	148.99	0.38	0.22		0.035			32.06	37.85		0.27			1.09	1.18					
29674	2:10	3:30	2:40	3:20	13.0	1700	3	27 153	120	113.33	0.39	0.24		0.020			31.74	37.69		0.50			1.07	1.19					
29675	4:00	5:29	4:30	5:19	13.0	1700	3	43 163	220	192.38	0.44	0.24		0.026			31.60	37.68		0.52			1.09	1.19					
29676	5:55	7:05	6:25	6:55	13.0	1700	3	56 132		178.50	0.44	0.24		0.024			31.81	37.71		0.41			1.07	1.19					
29677	7:41	9:11	8:11	9:11	13.0	1700	3	74 183	130	84.59	0.37	0.24		0.028			33.14	37.11	12.14	4.87	0.23	0.17	1.06	1.12					
29678	9:36	11:06	10:06	11:06	13.0	1700	3	87 133	180	176.17	0.41	0.24		0.032			33.97	36.65		0.26			1.06	1.08					
29679	12:00	13:20	12:30	13:10	13.0	1700	3	103 175	130	131.16	0.62	0.26		0.016			32.56	37.63		0.41			0.98	1.16					
29680	13:30	14:55	14:00	14:45	13.0	1700	3	113 114	170	167.25	0.58	0.25		0.020			32.56	37.63		0.41			0.98	1.16					
29681	16:30	17:50	17:00	17:40	13.0	1700	3	134 240	230	206.38	0.46	0.23		0.026			31.95	38.37		0.26			1.14	1.20					
29682	18:10	19:15	18:40	19:05	13.0	1700	3	145 125	170	170.81	0.51	0.25		0.018			31.84	38.24		0.26			1.14	1.20					
29683	19:45	21:15	20:15	21:05	13.0	1700	3	162 195	200	180.33	0.42	0.23		0.034			32.39	37.87		0.35			1.09	1.17					
29684	21:20	22:20	21:50	22:10	13.0	1700	3	172 114	120	102.25	0.40	0.23		0.028			32.34	37.81		0.41			1.09	1.17					
29685	22:40	0:08	23:10	23:58	13.0	1700	3	186 160	150	148.13	0.33	0.23		0.026			33.23	37.82		0.24			0.93	1.14					
合计/ 均值									1970.00	2100.27	0.45	0.24		0.026			32.40	37.70	12.14	4.87	0.35	0.17	1.05	1.17					

表 5-13 矿石分析日报表

日期:2002年6月10日

编号	原料名	化学成分/%										其 他				烧结矿粒度组成/%			
		TFe	MnO	SiO <sub>2</sub>	CaO	FeO	MgO	R	S	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	槽存	转鼓	卸量	卸入时间	>40mm	25~40mm	10~25mm	5~10mm	<5mm
1414	烧结	58.54		3.93	8.72	8.12	2.11	2.22	0.01	1.39		77.00		1:29					
248	球团	63.72		6.75	0.64	1.08	1.40	0.09	0.01	0.63				1:41					
1415	烧结	58.52		3.92	8.72	8.08	2.10	2.22	0.01	1.40				3:24					
1416	烧结	58.59		3.96	8.68	8.12	2.12	2.19	0.01	1.39		77.70		6:33					
1417	烧结	58.94		3.93	8.48	8.01	2.06	2.16	0.01	1.47		77.30		9:30					
1418	烧结	58.28		4.01	8.69	8.08	2.05	2.17	0.01	1.47				11:39					
249	球团	63.61		6.96	0.62	0.86	1.33	0.09	0.01	0.62		91.00		13:33					
1419	烧结	58.41		4.04	8.59	7.97	2.04	2.13	0.02	1.50		77.30		14:59					
1420	烧结	58.31		4.09	8.74	8.41	2.01	2.14	0.02	1.48		76.70		17:31					
250	球团	63.89		6.44	0.62	1.00	1.31	0.10	0.00	0.61				19:58					
1421	烧结	58.46		4.03	8.64	8.05	2.01	2.14	0.01	1.47				19:59					
1422	烧结	58.19		4.03	8.65	8.19	2.00	2.15	0.01	1.47		77.30		22:10					

表 5-14 炉料配比情况日报表

日期:2002年6月10日

批别	装料制度				焦 炭			矿 批	烧 结 矿	球 团 矿		矿		理论 配 料 R <sub>0</sub>	石灰 石量 /kg	萤 石量 /kg	焦炭 负荷 (批) <sup>-1</sup>	碎铁量 /kg· (批) <sup>-1</sup>		
	料制	料线/mm		α/(°)	γ/ (°)	Δβ	干焦 /kg			湿焦 /kg	水分 /%	配 比 /kg	配 比 /%						矿	矿
		矿	焦																	
1				77		3,630	3,630	16,000	11,800	74	4,200	26	0	0	1.38		4.41			
30				77		3,680	3,680	16,000	11,800	74	4,200	26	0	0	1.38		4.35			
94				77		4,140	4,140	18,000	13,300	74	4,700	26	0	0	1.38		4.35			
157				77		4,030	4,030	18,000	13,300	74	4,700	26	0	0	1.38		4.47			



风口工作状态日报表不是数据表,也不是文字表,而是符号表。按照工艺上的约定,用4种符号代表风口的4种工作状态:√为风口活跃,△为一般,×为风口呆滞,○为风口堵起。该表是工长每小时1次观察风口工作状态的记录。每天24个记录。

该表的数据来源是在【数据库】菜单中设立的【风口工作状态表】。只要风口工作状态表的原始数据输入好了,本表就能够正常阅读和打印。



## 6 炉温的智能控制

在第3章中,我们研究了高炉冶炼过程的参数优化与控制。本章专题研究炉温发展过程的智能控制。即在高炉设备安全与炉况顺行的前提下,如何把有经验的高炉工长对炉温的调控,把错综复杂的炉温调控过程用智能化模型表达和总结出来,包括运用预测控制模型、随机控制模型、神经控制模型等模型,发挥计算机网络在信息处理上强大功能与快速特性,实现人机互动下对炉温发展的智能化控制。在第3章冶炼参数系统优化基础上,实现炉温在优化范围内的智能控制,这是“智能控制专家系统”的技术核心。我们希望通过本章的详细论述,有助于工长理解和掌握建立在偏微分方程和神经网络算法基础上的炉温智能控制。

### 6.1 炉温智能控制原理

#### 6.1.1 炉温调控的工艺操作经验基础

高炉工长控制炉温的经验表明:调控炉温需要考虑的变动因素很多。包括外部条件的影响,如原燃料条件的变动,到内部状态的变化,如料速、透气性、煤气利用率等的影响以及炉温自身发展的趋势。工长调控炉温的参数,即冶炼过程的控制变量包括:料批重、焦炭负荷、配料碱度(统称配料参数的调整,为上部调剂);风量、风温、风压(统称鼓风参数的调整,即下部调剂)和富氧、喷煤的调整这3类。

3类参数的调剂对炉温影响的数量关联规律不同。其影响的强度,影响的时间滞后量和调控的方式是十分不同的。

配料参数的调整影响到炉温发展过程的热平衡与碱度平衡,影响到软熔带的变化,其影响的时滞约为3炉时间。因此,当预见炉温与炉渣碱度发展偏离优化范围时,必须提前3炉作出正确决策,进行变料,才能够控制炉温的发展,使其继续保持在优化范围中。如果炉温的变动已经形成向热或向凉趋势才开始进行变料调整,那么其结果必然导致炉温的某种过热或过凉状态。因此,对炉温的向热或向凉的发展趋势的控制必须是建立在丰富经验基础上的预测控制。用经典控制论的实时反馈控制思想进行炉温的控制必然是失效的控制。

在送风参数的调整中,以风量的调整对炉温变化的影响力度最强。当料速与透气性发生显著变动而导致显著调整风量时,其影响炉温的时滞在1~2炉时间范围。这种急剧的调整对炉温的平稳发展是不利的。急剧加风或减风带来炉况的波动,而且“没有风也就没有铁”,因此在一般情况下不采用急剧变动风量的方式调控炉温。

富氧喷煤与风温的调整影响炉温变动比较平缓,其时滞约 1 炉时间。与风量调整的显著不同点在于,富氧喷煤与风温的调整对炉温的变动一般只能起到微调的作用。即当炉温在优化范围内波动,并且需要适当微调,以免连续 3 炉炉温同一方向发展时,调整富氧喷煤与风温能够保持炉温的平稳发展。并且这种控制是一种随机控制,对 $[\text{Si}]$ 的变动影响幅度在 $\pm 0.1\%$ 范围内。

因此,3 类控制变量的调剂是以炉况的背景为调整的依据。即控制变量的调整对应于状态变量的变动。炉况状态决定控制变量选择的优先级。一般地说:预测控制对应于变料的调整,随机控制对应于喷煤风温的调整,而实时反馈控制则对应于风量的调整。

综上所述,根据国内高炉的具体情况,一般高炉工长对炉温的科学调控包含着以下 3 个方面的规律性:

(1) 对炉温发展趋势需要建立正确的预测判断,按照正确的预测进行控制决策;

(2) 对不同的炉温发展趋势的调整需要建立不同的对策;

(3) 对炉温的调控措施包含着控制参数、控制时间和控制强度 3 个方面,即依据状态变量决定控制参数的优先级和控制的强度。

这 3 方面的运筹控制及其成效是考核工长调控炉温技术水平的核心。

### 6.1.2 现代控制论与智能控制论原理

#### 6.1.2.1 “最佳炉温”概念

在应用现代控制论与智能控制论分析错综复杂的炉温控制规律中,需要建立起两个具有重要应用价值的概念:炉温发展的“最佳状态”,即“最佳炉温”的概念和炉温的“随机最优控制”概念。没有这两个概念,就无法建立炉温调控的科学分类。

实践证明,在高炉生产过程中,确实存在着某种炉温状态,在这种状态下,高炉的利用系数较高而且焦比较低,其铁水质量完全符合炼钢的要求,并且炉况发展平稳,高炉的这种生产状态我们称之为炉温的“最佳状态”。此时的铁水含硅量 $[\text{Si}]$ 称为最佳炉温(或中线炉温)。

在第 3 章中,我们应用变频数理统计算法和样本空间模型已经解决了最佳炉温的计算难题。应用“系统优化模块”我们能够在线定量地计算出高炉在某一时期的“最佳炉温”。这就使“最佳炉温”概念不仅是一个定性概念,而且成为对每一座高炉在不同条件下的动态优化的定量概念。我们能够计算分析得到科学的结论:与平均生产水平相比,在最佳炉温下,高炉提高利用系数、降低焦比的潜力究竟有多少。

在“最佳炉温”下,炉温微调的数量关系规律十分明确。这样,就建立起判断炉温状态的“坐标系”原点,从而简化了炉温状态的分类规律。按照最佳炉温确定随机最优控制策略,那么炉温的智能控制规则就能够大大简化。

#### 6.1.2.2 “随机最优控制”概念

高炉工作者对工艺上建立炉温智能控制模型常常感到缺乏信心的一个重要问

题是：“数据不可靠”。原燃料分析数据“不可靠”，铁水炉渣分析数据“不可靠”等等。应用智能控制论原理分析所提出的问题和相关数据，我们可以看到，这里的“不可靠”实际上混淆了数据可靠性的两个概念：“假数据”靠不住与“随机数据”的不确定性。

对于各种数据的可靠性问题，数学上有一套分析方法。关于数据误差问题，数学上可分为测量误差、系统误差与人为误差几类。测量误差是服从零均值正态分布规律的，因此在一定的误差范围内，不会影响客观规律的可靠性。系统误差则是由检测设备非正常状态造成的。例如，检测设备的零点漂移会造成测量数据的系统误差。因此由系统误差产生的结论与实际数据之间是一种规律性的线性偏差。只要对结果数据进行偏差常数修正，那么数据整体规律性仍然是正确可靠的。测量误差与系统误差不影响数据整体的客观规律性。但是，人为误差则不然。由于某种人为目的对测量数据进行修改，它将带来数据整体规律性发生变化，即影响数据整体分布规律结论的可靠性。然而，有经验的数据分析员是能够从数据正常分布规律被人为误差破坏的变动中看到人为误差的存在及其影响。例如，服从对数正态分布规律的某种化学分析数据，由于质量指标的考核要求，低于某一限定值时判为不合格，这时，在质量指标临界值边上就会形成特殊的分布，如“孤岛”分布，违背了正常的分布规律。从而检查出数据造假问题，通过剔除假数据，得出正确的结论。

由此可知，我们对在高炉过程众多复杂影响因素下的数据随机特性必须有正确的认识，在剔除数据中的假数据之后，我们必须正确面对正常的随机数据。必须确定随机最优控制的策略及其科学基础，从而实现高炉过程的随机最优控制。

在现代控制论中，实现随机最优控制有许多滤波方法，其中最著名的是 Kalman 滤波。在高炉冶炼进程中，考虑到炉温发展的惯性特征，我们判断炉温的状态水平完全可以使用简易的“黄金分割”滤波。其滤波公式是：

$$LB[Si](n) = a_1[Si](n-2) + a_2[Si](n-1) + a_3[Si](n)$$

式中  $a_1 + a_2 + a_3 = 1$ ;  $a_1/a_2 = a_2/a_3 = 0.618$ 。

对于不同的参数，采用适当的滤波方法，然后计算他们对炉温发展的影响，从而得到炉温的随机最优控制。

### 6.1.3 炉温控制预测的偏微分方程与神经网络算法

高炉工长调控炉温的实践表明，在随机优化控制下，有经验的工长根据高炉状态变量的变动调整控制变量的变动，在许多情况下既符合炉温调控方向的要求，也符合数量上的要求。这说明生产规律客观存在着随机优化控制。当然，缺乏经验的工长却难免发生随机控制的判断失误，包括控制变量、控制时间上的失误，甚至炉温发展方向上的判断与控制失误。

在 1 炉铁生产过程的大约 120min 时间中，工长密切注视着炉况的变化、状态

参数的变化,并且适时地进行各种控制变量的调整,以保持炉温在正常范围内。这样,在计算各种调控量的作用时就产生了算法上的一个困难问题,例如我们把120min时间分为4个时间段,每段时间为30min。显然,工长在第1时间段采取了某项措施X,与同样的措施放在第2、第3或第4时间段,那么对炉温调控的效果肯定是不同的。于是建立不同时间段的效用系数 $\mu_i$ ,各时间段的措施为 $X_i$ ,那么得到的该项措施对炉温影响的非线性偏微分方程为:

$$\frac{\partial[\text{Si}]}{\partial t} = f\left(\sum_{i=1}^4 X_i \mu_i\right) \quad (6-1)$$

当然,实际生产过程各种措施对炉温的影响不可能只有一个参数。对于众多参数的措施带来炉温变动的的影响,由式6-1推而广之,我们可以建立起多因素的炉温调控的偏微分方程及其神经网络计算公式:

$$\frac{\partial[\text{Si}]}{\partial t} = g\left(\sum_{j=1}^n \alpha_j \left(\sum_{i=1}^4 X_{ij} \mu_i\right) - \theta_j\right) \quad (6-2)$$

数值验证证明,各类权系数的调整加上各种调控措施的阈值 $\theta_j$ 的调整,式6-2的计算可以得到与工长经验控制比较吻合的神经网络计算结果。

因此,偏微分方程式6-2为炉温的智能控制建立了数量化计算基础。它使错综复杂的随机优化控制得到定量的计算结果。因此能够对控制的优劣与得失有一个科学的对比。

## 6.2 炉温智能控制图

根据以上阐述的炉温智能控制原理,我们设计了如图6-1的炉温智能控制系统图,作为指导工长智能控制炉温的人机交互界面。

图6-1由4个部分的软件仪表组成:

(1) [Si]-[S]控制预测图:反映最近4炉的[Si]-[S]实际值与预测值的变动情况,指示下一炉[Si]-[S]的预测值;

(2) 状态变量直方图:反映3项主要状态变量在高炉冶炼过程中每30min的变动情况;

(3) 控制变量直方图:反映3项主要控制变量在高炉冶炼过程中每30min的变动情况;

(4) 炉温智能控制指示图:反映每一个发展阶段(30min时间)计算机与工长对炉况的判断与控制对策。

每隔30min炉温智能控制系统图的4个仪表都将根据在线采集的数据自动地更新一次画面。此时在画面的上方将显示【人机会话提示条】,提醒操作者在限定的1min时间内,对计算机提出的智能控制判断与控制对策作出反应。如果操作者感到时间太短,可以点击【时间延长】钮,延长1min时间,以便操作者作出人工判断

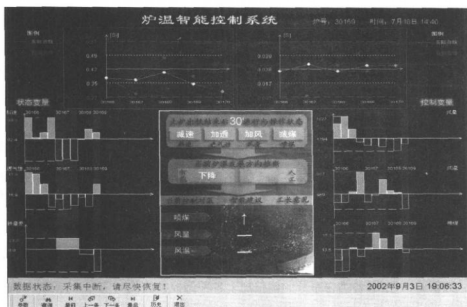


图 6-1 炉温智能控制系统图

和控制决策。以下详细说明炉温智能控制系统图的使用。

### 6.2.1 主要功能钮的使用

在图 6-1 的下方设置了 8 个功能钮, 这就是:【参数】、【查询】、【最前】、【上一条】、【下一条】、【最后】、【历史】与【退出】。各功能钮作用说明如下:

(1) 【参数】。点击该钮得到图 6-2 所示的画面。点击第一行【是否允许人工调整棒图的参数】前面的选择框, 在显示【√】的同时显示了各参数调整数值的对话框。由此可以对各个参数的最大值、中线值、最小值按照需要进行重新设置。其结果将改变各参数的直方图形状, 以便于观察和总结规律。同时可以重新设置智能控制对话框弹出存活的时间(常规设定为 60s), 以便于工长有充足的观察思考时间。在重新设置完成后, 点击【提交】钮, 则以新设置的参数为标准画面; 如果点击【放弃】钮, 则仍旧按照原来的设置参数显示图形。

(2) 【查询】。点击该钮, 屏幕上即显示查询的问答框。包含选择时间、选择炉号和实时监控 3 种查询方式。首先点击某一种查询方式, 输入所查询的时间或炉号或实时监控, 然后点击【确定】钮, 即可得到该时间、该炉号或当前炉的炉温智能控制系统图。然后点击【上一条】或【下一条】钮进行详细查询。

(3) 【最前】。点击该钮, 可得到数据库中最早 1 炉的炉温智能控制系统图。

(4) 【上一条】。点击该钮, 可得到 1 炉铁冶炼期间早 30min 的炉温智能控制系统图。



显示历史数据记录表。移动滚动条,就可以查看你所关心的各炉次的冶炼过程数据变动情况。同一炉号的每一炉都有3~4条控制调整记录。由此,我们可以深入研究在一炉铁的冶炼过程中,炉温的控制变动每30min是如何变动的,从而把握冶炼过程中各个主要参数的变化情况。它也可以验证炉温控制偏微分方程的90min计算值与出铁后的实际值的差别。

(8)【退出】。点击该按钮,即可退出炉温智能控制系统图。在现场使用的系统图,需要输入密码才能够退出。

### 6.2.2 [Si]-[S]控制预测图的使用

在屏幕上可见,图6-1炉温智能控制系统图的上方是2幅[Si]-[S]的预测控制图。其中绿色折线图指示最近4炉实际的[Si]-[S]化验值的变化,而红色点则是预测值。从绿色点出发,实线连接的是下一炉的实测值,虚线连接的点则是下一炉的预测值。预测点的位置从出铁后每30min计算一次,最后的预测点位置是按照出铁时间计算的。当实线与虚线在水平线的同一方向时,表明预测炉温发展方向与实际变动方向一致;否则,预测炉温方向有误。当然,如果误差在0.10%范围内,应当视为随机误差,而不是预报方向有误。5条横坐标线是[Si]的均值线 $\mu$ , $(\mu \pm \sigma)$ 线与 $(\mu \pm 2\sigma)$ 线,这是全面质量管理的控制线。从中可以看到[Si]-[S]的波动幅度,横坐标上的数值标注的是当前几炉的炉号。这样,我们从[Si]-[S]控制预测图上可以直观地总结炉温的智能控制规律。在平稳炉温下,绿色折线一般应当在均值线与上下2条控制线 $(\mu \pm \sigma)$ 之间波动。

之所以称为“控制预测”图,是因为其预测值是按照当前的状态变量与控制变量的实际值,通过偏微分方程的神经网络算法计算下一炉出铁时的数值预报。这是动态的控制预报,称为控制预测。不同的控制措施,将得到不同的预报值,它不同于时间序列的静态预报。在时间序列预报模型中,只是从第 $n$ 炉预报第 $n+1$ 炉,没有控制变量的变动介入预报。

### 6.2.3 状态变量直方图的使用

图6-1炉温智能控制系统图的左边是3项状态变量:料速 $LS$ 、透气性 $FF$ 和铁量差 $TLC$ 的变动直方图(即棒图)。图上总共显示了4炉铁冶炼过程的状态变量的变动情况,每一炉当中又包含3~4条棒图(每30min1条棒图,每一炉铁之间用纵向暗条分割),反映了1炉中不同时间段的状态变量的变动。在屏幕上可见,粉色棒图表明状态参数的变动是加大或上升,而蓝色棒图则代表参数的变动是减少或下降。纵坐标反映变动的幅度,横坐标所在纵轴位置为当前状态变量的平均值,横向排列数字是近期的炉号。这些状态变量在每一时间段的变化值是根据采集的数据计算出来的平均值。因此,所反映的状态变量的变动是可靠的。这些状态变量的动态变化决定着控制变量的调整。

从图6-2可以看到,在1炉铁冶炼过程的100min时间中,每30min的状态变

量情况是不一样的。因此,应当按照状态变量的升降及时调整控制变量的变动。

#### 6.2.4 控制变量直方图的使用

图 6-1 炉温智能控制系统图的右边是 3 项控制变量:风量  $FL$ 、风温  $FW$  和喷煤  $PMB$  的变动直方图(棒图)。图上显示了近期 4 炉铁冶炼过程的控制变量的变动情况。每一炉当中又包含 3~4 条棒图(每 30min 1 条棒图,每一炉铁之间用纵向暗条分割),反映 1 炉中不同时间段的控制参数调整。在屏幕上可见,粉红色棒图代表参数的变动是加大或上升,而蓝色棒图则代表参数的变动是减少或下降。纵坐标反映变动的幅度,横坐标所在纵轴位置为控制变量当前的平均值,横向排列的数字是近期炉号。这些控制变量在每一时间段的变化值是根据采集的数据计算出来的平均值。因此,所反映的控制变化是真实可靠的。

从图 6-2 可以看到,针对状态变量的状况,工长采取的控制变量措施也是随时在调整中。直方图反映了实际调整的结果,这样,工长可以通过前面 3 炉的直方图检查动态调控的成效,从而得到本炉调控的正确对策。

#### 6.2.5 每 30min 1 次的炉温智能控制提示

根据炼铁专家的建议意见和工长实际调控炉温的经验,高炉冶炼过程的炉温控制需要经过大约 20~30min 才能够显示出一定的控制效果。太短时间考察炉温控制成效没有意义。因此,我们在炉温智能控制系统图中选择了每 30min 为一个时间单元,计算一次炉温的预测控制效果。

每 30min 计算一次,又可以把状态变量与控制变量的累计效应通过神经网络算法计算出来。由于 1 炉铁只有 1 次  $[Si]$  的化验值,因此 30min 计算,60min 计算和 90min 计算偏微分方程预测  $[Si]$  值是否正确是无法得到直接验证的。但是在 1 炉铁冶炼完成之后,按照神经网络算法是能够直接验证偏微分方程的计算结果与实际炉温  $[Si]$  的变动是否对应的。于是,由最后的正确对应,证明每 30min 的控制计算具有指导价值。

这样,炉温控制偏微分方程给出了高炉冶炼过程动态控制炉温的算法与调控方法的对应。显然,这种模型对于实现炉温智能控制自动化具有重要的价值。而智能控制方程的完善则需要在线采集数据的积累,在实时采集数据的验证中,在完善学习与自适应模型中逐步完善提高。

#### 6.2.6 人机交互的炉温智能控制指示图

图 6-1 的中间仪表是人机交互的炉温智能控制指示图。图的第 1 栏是上炉出铁结束后 30min(或 60min,或 90min)高炉运行与操作状态的计算机智能化判断。计算机根据采集的数据对料速—透气性—风量—喷煤 4 项重要变量的【升】【降】—【加】【减】进行智能化判断。在屏幕上可见,其判断结论用黄色的汉字在各变量下面标明。如“加速—减透—加风—减煤”状态,这是炉温智能控制的 16 种状态控制组合中的一种。



炉温智能控制的 16 种状态与控制组合是:

- (1) (料速 $\uparrow$  + 透气性 $\uparrow$ )—(风量 $\uparrow$  + 喷煤 $\uparrow$ )
- (2) (料速 $\uparrow$  + 透气性 $\uparrow$ )—(风量 $\downarrow$  + 喷煤 $\downarrow$ )
- (3) (料速 $\uparrow$  + 透气性 $\uparrow$ )—(风量 $\uparrow$  + 喷煤 $\downarrow$ )
- (4) (料速 $\uparrow$  + 透气性 $\uparrow$ )—(风量 $\downarrow$  + 喷煤 $\uparrow$ )
- (5) (料速 $\uparrow$  + 透气性 $\downarrow$ )—(风量 $\uparrow$  + 喷煤 $\uparrow$ )
- (6) (料速 $\uparrow$  + 透气性 $\downarrow$ )—(风量 $\downarrow$  + 喷煤 $\downarrow$ )
- (7) (料速 $\uparrow$  + 透气性 $\downarrow$ )—(风量 $\uparrow$  + 喷煤 $\downarrow$ )
- (8) (料速 $\uparrow$  + 透气性 $\downarrow$ )—(风量 $\downarrow$  + 喷煤 $\uparrow$ )
- (9) (料速 $\downarrow$  + 透气性 $\uparrow$ )—(风量 $\uparrow$  + 喷煤 $\uparrow$ )
- (10) (料速 $\downarrow$  + 透气性 $\uparrow$ )—(风量 $\downarrow$  + 喷煤 $\downarrow$ )
- (11) (料速 $\downarrow$  + 透气性 $\uparrow$ )—(风量 $\uparrow$  + 喷煤 $\downarrow$ )
- (12) (料速 $\downarrow$  + 透气性 $\uparrow$ )—(风量 $\downarrow$  + 喷煤 $\uparrow$ )
- (13) (料速 $\downarrow$  + 透气性 $\downarrow$ )—(风量 $\uparrow$  + 喷煤 $\uparrow$ )
- (14) (料速 $\downarrow$  + 透气性 $\downarrow$ )—(风量 $\downarrow$  + 喷煤 $\downarrow$ )
- (15) (料速 $\downarrow$  + 透气性 $\downarrow$ )—(风量 $\uparrow$  + 喷煤 $\downarrow$ )
- (16) (料速 $\downarrow$  + 透气性 $\downarrow$ )—(风量 $\downarrow$  + 喷煤 $\uparrow$ )

然后,进入了指示图的第 2 栏:【当前炉温发展分析推断】。计算机给出智能化的推断结论:“炉温上升 $\uparrow$ (或下降 $\downarrow$ ,或持平—)”。与此同时,工长可以自愿给出人工经验的推断结论,以便存入数据库进行决策对比分析。

进而,得到指示图的第 3 栏【当前控制对策】,对“喷煤—风量—风温”3 项控制变量的调整给出计算机的【智能建议】:升【 $\uparrow$ 】(或降【 $\downarrow$ 】,或持平【—】)。作为比较,并行的一栏是【工长意见】,同样可以给出工长个人的经验决策意见。如果工长没有在计算机上进行人机交互回答,而实际控制变量已经作出调整,那么我们可以从记录在数据库中的数据分析中得到工长的实际控制决策。因此,完全可以从实际控制成效中分析出“控制决策—智能建议—炉温发展”的命中规律。

这样,通过人机交互的炉温智能控制规律的总结,必然能够逐步提高工长智能控制炉温的水平。并且,随着工长应用的熟练,智能控制命中率必然能够大幅度提高。

## 6.3 炉温智能控制系统图的综合应用

### 6.3.1 [Si]-[S]预测控制图的仿真应用

由于偏微分方程可以根据炉况状态的变动给出控制变量的调整来控制炉温的发展,因此,在人机互动中,工长可以输入自己的控制意见,计算机可以根据这一控制方案计算炉温发展的预测值。实际上,在[Si]-[S]预测控制图中,计算机每

30min 都有一次按照实际发生的状态变量和控制变量的变动值计算 $[\text{Si}]$ 的预测值。点击【上一条】、【下一条】钮,我们就可以看到这种预测值的变动。

仿真应用将随着偏微分方程模型的完善而具有实时应用价值。它使炉温在炉况平稳条件下的随机最优控制能够通过模拟找到合适的控制变量的调整。

### 6.3.2 炉温发展过程预测的人机交互验证与自主学习

在当前炉况下的炉温控制规律如何,工长控制炉温的成效如何,这些问题原来只能依靠工长自己在实践中摸索。

炉温智能控制系统图为工长探索和交流炉温控制规律提供了强有力的工具。这也是工长应用“智能控制专家系统”希望能够得到的指导帮助。工长通过炉温预测控制系统图既能够总结自己的控制经验,也能够观察、借鉴他人的控制规律。

工长对自己控制炉温的规律与成效的判断总结分为定性与定量两个方面。

定性论断完全可以从系统图的画面上总结。控制的结果从 $[\text{Si}]$ - $[\text{S}]$ 预测图上考察,需要注意的是在绿色折线所反映的 $[\text{Si}]$ - $[\text{S}]$ 实际值与红色虚线反映预测值的对比中,考察炉温控制方向是否正确。其控制方式与效果可以归纳成在 6.2.6 中所列的 16 种控制模式,找出对应的控制规律。

定量的分析则是从偏微分方程的 3 项状态变量与 3 项控制变量的变动计算结果中验证。这时需要点击【历史】钮,查询历史数据的变动过程和最后结果。历史数据表中,每项变量的数值是根据采集的数据按照神经网络方法计算处理的,它反映了不同时间段的加权平均,体现了不同控制方式的不同效果,而不是简单的平均值。

通过定性与定量两方面的验证,工长很快能够总结出自己调控炉温的规律,并且在数量上控制得更符合 $[\text{Si}]$ 优化控制范围的要求。

### 6.3.3 提高炉温控制的命中率和成功率

网络版“智能控制专家系统”通过及时提供原燃料参数变动信息,及时反馈铁水与炉渣化验数据,及时反馈铁水称量数据,来保障冶炼过程的热平衡与碱度平衡满足随机优化控制的要求。同时,通过状态变量与控制变量的在线采集与神经网络计算,用偏微分方程来模拟炉温的发展过程,通过炉温智能控制系统图的应用,把控制状态与结果用软件仪表形象地反映出来,从而指导工长对炉温的调控。随着工长对炉温发展规律的深入认识,炉温的平稳控制水平必然提高。而炉温的平稳发展,其模型计算的命中率也必然提高。

因此,“专家系统”不断提高炉温预测的成功率与命中率的过程也就是工长整体提高炉温调控平稳水平的过程,两者是相互促进的。随着炉况平稳控制能力的提高,出现炉况故障与事故的情况大大减少,这样,在炉况剧烈波动情况下炉温预报命中率低的难题也就能有效地避免。这是在中国高炉现有装备条件与原燃料条件下,通过冶炼过程优化与智能控制挖掘高炉潜力的最佳策略。

## 7 化验数据输入子系统的使用

### 7.1 系统概述

#### 7.1.1 引言

铁区化验室是高炉冶炼过程中原燃料分析数据、铁水、炉渣分析数据等大量数据的信息源。在传统工艺流程中,化验室通过电话把各种数据报送到高炉主控室和调度室。显然,这种传递信息的方式既效率低下,又容易出错。

在莱钢1号高炉“智能控制专家系统”中,化验室的微机与炼铁厂调度室的数据服务器联网,成为“专家系统”的一个终端(也称客户端)。在终端上运行“化验数据输入子系统”(以下简称“子系统”)。

化验室操作人员通过与客户端的人机会话,调用“子系统”的各种功能模块,来为高炉主控室提供化验原始数据。客户端作为化验室操作人员的得力工具,通过计算机高新技术与传统工艺技术的有机结合,达到提高生产效率,减少错误的目的。本章将为化验室操作人员详细介绍“子系统”的各项功能及其操作使用方法。

#### 7.1.2 启动系统

打开计算机后,等待 Windows98 系统启动完成。接着,屏幕显示要求登录到 Microsoft 网络的“系统登录”对话框,如图 7-1 所示:

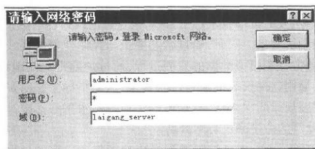


图 7-1 Windows 网络系统登录界面

其中“用户名”和“域”的内容是预先设定好的,不需要修改,以免造成无法使用系统的问题。接着在“密码”一栏里键入“bfos”(即登录网络的密码是“bfos”,已预先设定),然后点击【确定】钮。此时化验室终端已登录到网络中。“子系统”的程序


启动入口是放在桌面的图标，其下有英文“Internet Explorer”，此时需要双击这个图标，如果长时间没有反应，请尝试重新双击这个图标，即可进入智能控制专家系统的“子系统”。图 7-2 即为“子系统”的初始界面。



图 7-2 “子系统”初始界面示意图

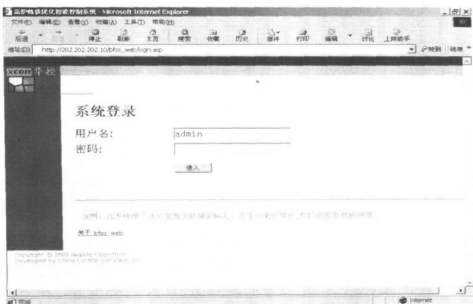


图 7-3 莱钢“化验数据输入子系统”登录界面

移动鼠标的箭头到初始界面上,并单击图 7-2 所示的图片区域或文字“化验数据输入子系统”,即可进入图 7-3 的“系统登录”界面。

在图 7-3 中,“用户名”一栏的内容已预先设定为 admin,不需要修改。在“密码”栏中输入密码“111”,然后点击【进入】钮,这样,就进入输入数据程序的主界面了。图 7-4 为输入程序的主界面—数据一览表。

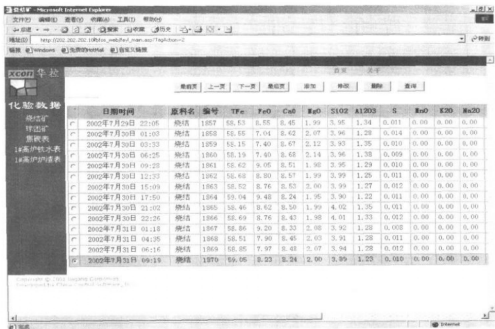


图 7-4 “化验数据输入子系统”主界面

## 7.2 数据输入

### 7.2.1 功能钮的操作使用

在图 7-4 主界面数据一览表的上方是 8 个通用功能钮:【最前页】、【上一页】、【下一页】、【最后页】、【添加】、【修改】、【删除】和【查询】;其上是 2 个系统钮:【首页】与【关于】。通过单击这些功能钮,操作者就可以对数据表进行查询、添加、修改、删除等项操作,从而完成数据录入工作。下面综合介绍这些功能钮的用途和操作使用。

(1) 【添加】。本系统的各个数据表不仅包含录入的数据,而且包含由原始数据计算得到的对工艺分析有价值的计算结果。为了使数据录入清晰、方便,在各数据表下设置了“添加表”。单击【添加】钮,数据表界面上就会显示出“添加表”,按照表中栏目录入对应数据,即完成录入工作。

注意:对每一个数据表,需要录入数据时都必须先单击【添加】钮,才能进行数据的录入。不单击【添加】钮是不能够在数据表上直接录入数据的。

(2)【修改】。当数据表已经录入一些数据,现在需要补充录入新数据时,补充新数据的操作就必须单击【修改】钮,在“修改表”下进行。如果使用其它钮,则会出错。

(3)【查询】。单击【查询】钮,屏幕上会显示一个【查询方式】对话框,要求操作者选择是按照时间还是按照炉号进行数据表的查询。单击其中一种查询方式,输入所要查询的时间或炉号,单击【确定】钮,计算机即进行查询,并且显示所要查阅的数据表。

(4)【删除】。当发现数据表中某一条的数据记录的数据错误太多,希望把它删除时,操作步骤是:

首先,移动鼠标用空心箭头光标在屏幕下方的数据一览表上找出需要删除的某一时间或某一炉号的记录。此时单击该行数据,则该行数据以蓝色显示表示被选中,同时前面的复选框中出现一个小黑点。然后移动空心箭头光标并单击工具条上的【删除】钮,则屏幕上出现要求确认,提出警告的对话框。如果操作者在对话框上点击【确认】钮,则该条数据记录将从数据表中永远删除,不能再恢复。因此,删除记录的操作需要特别谨慎。需要注意的是铁水成分表和炉渣分析表里的数据记录是连续录入的,因而如有错误只允许修改,不允许删除,所以在这两个表中没有【删除】钮。

(5)【最前页】。这是数据查询的一个特殊位置,即查询数据表的第一条数据记录。因此,单击【最前页】按钮,光标将快速地指向数据表的第一条数据记录。

(6)【最后页】。这是数据查询的又一特殊位置,即查询数据表的最后一条数据记录。单击【最后页】按钮,光标将快速地指向数据表的最后一条数据记录。在一般情况下,这也是当前最新的数据记录。

(7)【上一页】。单击此钮,光标将从当前数据记录位置移到上一页数据记录的位置。

(8)【下一页】。单击此钮,光标将从当前数据记录位置移到下一页数据记录位置上。

上述8项通用功能钮,在不同数据表中有时各有不同。一些特定功能钮的使用,我们将在后面详细说明。

(9)【首页】。【首页】钮用于回到操作者登录前的系统状态,即图7-2所示的初始界面状态。单击【首页】回到系统未登录状态后,可以避免无关人员随意操作。

(10)【关于】。【关于】是包含了一些版本信息以及版权信息的说明性文档。操作者可以从中查阅系统操作的有关说明。

### 7.2.2 化验数据表的数据录入

在图7-4数据一览表的左边是化验数据表的选择菜单,它包括【烧结矿】、【球

团矿】、【焦炭表】、【1号高炉铁水表】和【1号高炉炉渣表】等5个栏目,分别对应烧结表、球团表、焦炭表、出铁数据表和炉渣分析表。“子系统”的这些表和第2章中的“数据库与数据表”中的原料数据表、焦炭数据表、出铁数据表和炉渣分析表的原始数据相对应的。

将鼠标移动到选择菜单的某个选定的栏目上,鼠标指针变成手指形状,同时这一栏以深蓝色显示,单击该栏目,屏幕即显示该项数据一览表。

### 7.2.2.1 烧结表

在图7-4主界面上的“化验数据”选择菜单上单击【烧结矿】,屏幕即显示烧结数据一览表,如图7-4所示。使用该表上方工具条上的8个按钮,即可对该表进行各种操作。

单击【添加】按钮,即进入烧结数据表的录入界面“添加烧结矿记录”,如图7-5所示。其中时间是计算机时钟自动设置的,是操作者开始录入数据的时间。在添加界面下,矿样编号的顺序是自动生成的,需要回车确认。班别则由操作者单击下拉条选择。各化验成分数据依次录入。如果某项栏目无数据,则需要回车跳过。录入完毕,确认无误后,单击【发送】按钮,则最新记录的烧结矿化验数据立即传送到高炉主控室的优化机上。同时,发送的时间也记录在数据库中,供数据安全使用。

添加烧结矿记录

时间: 1999年 12月 12日 14时 15分 原料名: 烧结

编号: 1871 班别: 17

TFe: <input type="text"/>	FeO: <input type="text"/>	CaO: <input type="text"/>	MgO: <input type="text"/>
SiO <sub>2</sub> : <input type="text"/>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : <input type="text"/>	S: <input type="text"/>	MnO: <input type="text"/>
K <sub>2</sub> O: <input type="text"/>	Na <sub>2</sub> O: <input type="text"/>	P: <input type="text"/>	

转鼓指数:  烧损:  粒度<5mm:

Copyright © 2000, Heping Corporation.  
Developed by China Control Software, Inc.

图 7-5 烧结矿数据录入界面

### 7.2.2.2 球团表

在图 7-4 主界面上的“化验数据”选择菜单上单击【球团矿】，屏幕即显示球团数据一览表(类似图 7-4,图略)。使用该表上方工具条上的 8 个钮,即可对该表进行各种操作。

单击【添加】钮,屏幕显示“添加球团矿记录”,如图 7-6 所示。

The screenshot shows a web browser window displaying a form titled "添加球团矿记录" (Add Pellet Record). The form includes the following fields and controls:

- 时间:** A date and time selector showing "0000 年 10 月 00 日 00 时 00 分".
- 原料名:** A text field containing "球团矿".
- 编号:** A text field containing "392".
- 班别:** A dropdown menu with "00" selected.
- Chemical Analysis Fields:**
  - TFe: [ ]
  - FeO: [ ]
  - CaO: [ ]
  - MgO: [ ]
  - SiO<sub>2</sub>: [ ]
  - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: [ ]
  - S: [ ]
  - MnO: [ ]
  - K<sub>2</sub>O: [ ]
  - Na<sub>2</sub>O: [ ]
  - P: [ ]
- Physical Properties:**
  - 转鼓指数: [ ]
  - 烧损: [ ]
  - 粒度<5mm: [ ]
- Buttons:** "发送" (Send) and "取消" (Cancel) buttons at the bottom.

At the bottom of the browser window, there is a copyright notice: "Copyright © 2003 Beijing Corporation. Developed by China Control Software, Inc."

图 7-6 球团矿数据录入界面

球团数据表的数据录入过程与烧结数据表的录入过程完全类似。其时间是计算机时钟自动设置的,是操作者开始录入数据的时间。其矿样编号的顺序是自动生成的,需要回车确认。班别则由操作者单击下拉条选择。录入完毕,确认无误后,单击【发送】钮,则最新的球团矿化验数据立即传送到高炉主控室的优化机上。

### 7.2.2.3 焦炭表

在图 7-4 主界面上的“化验数据”选择菜单上单击【焦炭表】,屏幕即显示焦炭数据一览表(类似图 7-4,图略)。使用该表上方工具条的 8 个功能钮,可对该表进行各种操作。

单击【添加】钮,即进入焦炭数据表的录入界面,如图 7-7。焦炭表的录入过程包括:时间是计算机时钟自动设置的,是操作者开始录入数据的时间。试样编号的顺序是自动生成的,需要回车确认。班别由操作者单击下拉条选择。然后依次录入焦炭质量分析数据与转鼓指数数据。如果某项无数据,则需要回车跳过。录入完毕,确认无误后,单击【发送】按钮,则最新记录的焦炭化验数据与检验数据立即



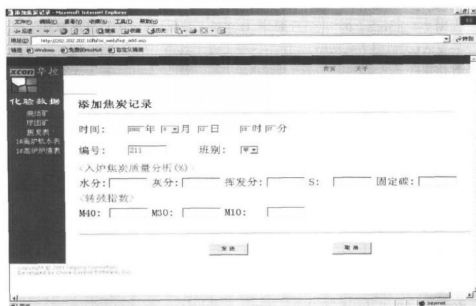


图 7-7 焦炭表数据录入界面

传送到高炉主控室的优化机上。

#### 7.2.2.4 铁水成分表

在图 7-4 主界面上的“化验数据”选择菜单上单击【1 号高炉铁水表】，屏幕即显示铁水数据一览表(类似图 7-4，图略)。使用该表上方工具条上的 7 个通用功能钮，即可对该表进行各种操作。

单击【添加】钮，即进入添加高炉铁水成分记录表，如图 7-8 所示。该表用于记录每一炉铁水的[Si]、[Mn]、[S]、[P]等化验成分数据。铁水的炉次是计算机自动生成，而且是惟一的编号，在程序中不允许删除。如果录入有误，则单击【修改】钮，可以对错误数据进行修改。班别则由操作者单击下拉条选择。然后依次录入[Si]、[Mn]、[S]、[P]等化验数据。录入完毕，确认无误后，单击【发送】钮，则最新记录的铁水化验数据立即传送到高炉主控室的优化机上。同时，传送的时间也记录在数据库中，作为数据安全的备查信息。

由于出铁数据涉及炉温预测模型和优化模型等方面的计算，因此在完成化验后的第一时间及时传送是十分重要的。

#### 7.2.2.5 炉渣分析表

在图 7-4 主界面上“化验数据”选择菜单上单击【1 号高炉炉渣表】，屏幕即显示炉渣数据一览表(类似图 7-4，图略)。使用工具条上的 7 个通用功能钮，可对该表进行各种操作。

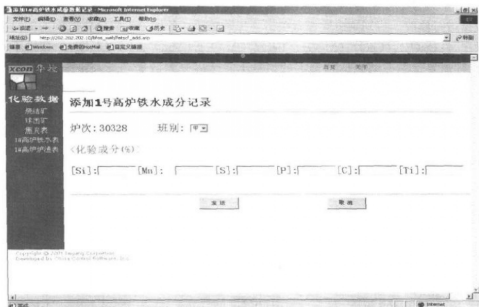


图 7-8 铁水表数据录入界面

单击【添加】钮,即进入添加炉渣分析记录表,如图 7-9 所示。该表用于记录每一炉炉渣的( $\text{SiO}_2$ )、( $\text{CaO}$ )、( $\text{MgO}$ )、( $\text{FeO}$ )等化验数据。其炉次与铁水炉次相对

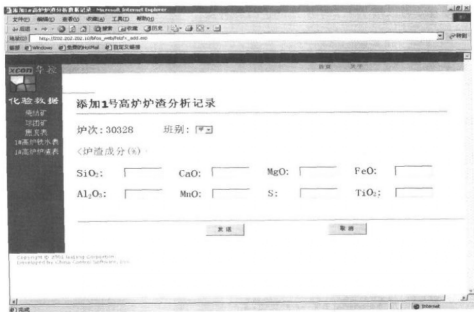


图 7-9 炉渣表数据录入界面


应,各炉编号是惟一的,不允许删除。如果录入有误,则单击【修改】钮,可以对错误数据进行修改。班别则由操作者单击下拉条选择。各种分析成分依次输入的自动顺序是:  $(\text{SiO}_2)$ ,  $(\text{CaO})$ ,  $(\text{MgO})$ ,  $(\text{FeO})$ ,  $(\text{Al}_2\text{O}_3)$ ,  $(\text{MnO})$ ,  $(\text{S})$ ,  $(\text{TiO}_2)$ 。如果不一致,则需要首先移动光标到预定的栏目上。然后录入数据。录入完毕,确认无误后,单击【发送】钮,则最新的炉渣分析数据立即传送到高炉主控室的优化机上。同时,其传送的时间记录在数据库中,作为数据安全的备查信息。

## 7.3 异常情况的处理

### 7.3.1 死机问题的处理

在系统使用的过程中,由于种种原因,可能造成机器死机,这时只要重新启动计算机并重复在 7.1.2 中所述的几个操作步骤即可恢复数据表的录入工作。

### 7.3.2 “子系统”瘫痪的处理

如果由于人为操作使用不当或系统其他原因造成当前正在使用的“化验数据输入子系统”瘫痪,此时我们可以启用备用系统。启动的方法是在计算机启动登录网络后进入 Win98 界面,双击桌面图标 ,即打开 Internet Explorer。由于原系统不可再用,因而此时并不能看到图 7-2 所示的“化验数据输入子系统”的初始界面。这时只要单击【收藏】钮,即可打开如图 7-10 所示的菜单,看到其中的“化验室录入程序(备份一)”和“化验室录入程序(备份二)”这两套备用系统。单击二者中的一个即可进入备用系统,屏幕显示图 7-2 所示的“化验数据输入子系统”的初始界面。接着就可以按 7.1.2 中所述的进行各种操作。

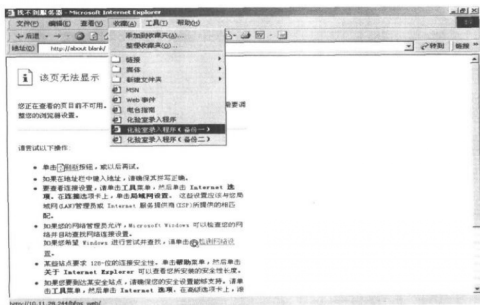


图 7-10 “化验数据输入子系统”备份的启动界面

### 7.3.3 无法登录“子系统”的处理

如果在机器启动后发现无法登录到网络,或在使用过程中突然出现网络中断的现象,检查网络是否处于连通状态。主要是检查网线接口的水晶头是否插紧或有损坏,网卡是否插紧或有损坏,如均为正常,但“子系统”仍不能启用,则需联系自动化部技术人员处理。

综合以上操作使用说明可以看到,通过“化验数据录入子系统”的使用,化验员在终端计算机上能够十分方便地完成每天上百个化验数据的报送工作。它比起用电话报送数据,既提高了工作效率,又确保了数据的正确传送。化验员可以对化验数据的正确性负完全责任。它有效地避免了因数据误传带来的工长判断失误。

关于数据录入中的有关规则与注意事项,需参看本书下篇第1章的1.3节,这里不再重复。

## 8 冶炼参数系统优化分析报告 与生产优化建议

### 8.1 引言

在“智能控制专家系统”投入高炉生产运行后,通过技术培训,工长初步掌握了“专家系统”的应用。通过3个月在线采集过程数据,我们就能够进一步对生产数据进行全面深入的系统优化分析,揭示高炉生产优化规律,确定关键参数的优化范围及其优化组合,对生产的进一步发展提出优化建议。并且通过领导的优化决策和工长的优化操作实现高炉技术经济指标的显著改善。

这项工作正是本“专家系统”在技术分析与管理优化决策高层次上的应用,是“专家系统”在技术分析—管理决策—优化操作上的“三位一体”应用。

浙江大学已经为莱钢炼铁厂提出了2001年7~9月3个月的“冶炼参数优化分析报告与生产优化建议”作为系统优化分析的范本。这里列出生产优化分析报告与建议的提纲,供用户开展优化分析参考。实际上,对生产过程的优化分析工作至少每半年应该进行1次。按照本提纲列出的项目和分析步骤,充分分析、对比高炉生产发展的各项参数与指标情况,对于进一步改善高炉的指标具有重要的价值。

### 8.2 生产数据的基本统计

进行优化分析与统计对比首先就需要对基准期的生产和分析期的基本数据进行统计。通过表8-1生产统计对比表,可以比较19项参数与指标的发展情况。分析期的统计结果可以由数据库中的月统计表和年统计表十分方便快捷地得到。

表8-1 莱钢1号高炉2001年7~9月生产参数统计对比表

序号	项目名称	7月	8月	9月1日~9月19日	7月1日~9月19日
1	月产铁量/t	56844.95	57142.84	33963.1	147950.89
2	月利用系数/ $t \cdot (m^3 \cdot d)^{-1}$	2.445	2.458	2.383	2.435
3	入炉焦比/ $kg \cdot t^{-1}$	335.07	336.13	325.79	333.35
4	煤比/ $kg \cdot t^{-1}$	159.26	157.05	165.18	159.76
5	折算综合焦比/ $kg \cdot t^{-1}$	471.56	470.77	467.4	470.3
6	冶炼强度/ $t \cdot (m^3 \cdot d)^{-1}$	0.819	0.826	0.776	0.812

续表 8-1

序号	项目名称	7月	8月	9月1日~9月19日	7月1日~9月19日
7	综合治强 $t \cdot (m^3 \cdot d)^{-1}$	1.153	1.157	1.114	1.145
8	合格率/%	100	100	100	100
9	一级品率/%	76.16	81.23	82.27	79.52
10	三级品率/%	1.64	2.17	1.09	1.72
11	[Si]均值/%	0.45	0.471	0.442	0.456
12	[S]均值/%	0.024	0.023	0.022	0.024
13	入炉矿品位/%	59.21	59.36	58.89	59.19
14	熟料比/%	100	96.28	93.31	97.04
15	焦炭负荷 $t \cdot t^{-1}$	4.744	4.819	4.781	4.782
16	综合负荷 $t \cdot t^{-1}$	3.371	3.502	3.419	3.434
17	风温/ $^{\circ}C$	916	917	933	920
18	渣碱度(R)	1.13	1.14	1.14	1.14
19	三元碱度	1.16	1.17	1.17	1.16

## 8.3 应用“智能控制专家系统”进行系统分析

### 8.3.1 系统分析表对3个月生产的总结对比

在专家知识库中确定利用系数的基准值后,即可应用【优化】模块进行系统优化分析。由此得到3个月生产数据的“系统优化分析表”,并且进一步汇总成表8-2A、B级样本简明分析表和表8-3部分D、E级样本简明分析表。通过这些分析表的对比分析,很容易总结出“好样本”与“差样本”在生产上的显著差别所在。

表 8-2 A、B 级样本简明分析表

序号	项目名称	0729	0820	0702	0707	0804	0809	0811	0813
1	样本炉数	13	30	25	27	31	28	28	30
2	起始炉号	25756	26028	25422	25481	25829	25886	25914	25942
3	样本级别	A	A	B	B	B	B	B	B
4	小时出铁量 $t \cdot h^{-1}$	91.82	87.73	81.48	82.95	82.16	81.88	83.33	82.93
5	样本系数 $t \cdot (m^3 \cdot d)^{-1}$	2.938	2.808	2.608	2.654	2.629	2.620	2.667	2.654
6	样本焦比 $kg \cdot t^{-1}$	328.78	347.98	356.20	328.44	349.92	348.56	371.21	350.66
7	折算综合焦比 $kg \cdot t^{-1}$	460.8	498.99	500.17	476.53	497.44	491.52	514.61	492.30
8	焦炭负荷 $t \cdot t^{-1}$	4.745	4.886	4.486	4.865	4.718	4.718	4.762	4.841
9	冶炼强度 $t \cdot (m^3 \cdot d)^{-1}$	0.834	0.884	0.892	0.822	0.822	0.872	0.865	0.895

续表 8-2

序号	项目名称	0729	0820	0702	0707	0804	0809	0811	0813
10	综合冶强/ $t \cdot (m^3 \cdot d)^{-1}$	1.169	1.267	1.253	1.193	1.254	1.231	1.199	1.256
11	风量/ $m^3 \cdot min^{-1}$	1738	1919	1798	1851	1832	1821	1822	1867
12	风温/ $^{\circ}C$	911	922	935	912	929	926	918	927
13	风 压	209	229	222	222	221	224	222	228
14	透 气 性	17.20	17.90	17.11	17.77	17.40	17.03	17.16	16.91
15	鼓 风 动 能	6343	6406	5585	10512	5912	5921	5713	5962
16	[Si]/%	0.54	0.45	0.47	0.39	0.47	0.43	0.53	0.50
17	[S]/%	0.032	0.020	0.029	0.025	0.032	0.022	0.027	0.025
18	渣碱度(R)	1.001	1.162	1.150	1.129	1.113	1.199	1.114	1.154
19	综矿铁品位/%	59.36	56.08	59.29	59.46	59.56	59.37	59.80	59.22
20	熟料比/%	100	95.0	100	100	100	100	100	100
21	烧结矿碱度	1.84	1.82	1.97	1.96	1.81	1.84	1.83	1.82
22	烧结矿 FeO/%	9.75	8.99	9.91	9.37	8.91	8.83	8.85	9.20

表 8-3 部分 D、E 级样本简明分析表

序号	项目名称	0801	0806	0822	0827	0904	0910	0914	0918	0704
1	样本炉数	18	26	28	34	28	22	17	18	34
2	起始炉号	25785	25860	26058	26121	26216	26287	26348	26401	25447
3	样本级别	D	D	D	D	D	D	D	D	E
4	小时出铁量/ $t \cdot h^{-1}$	77.83	76.88	77.6	75.65	76.56	77.18	77.58	75.10	73.86
5	样本系数/ $t \cdot (m^3 \cdot d)^{-1}$	2.490	2.460	2.483	2.421	2.450	2.470	2.483	2.403	2.363
6	样本焦比/ $kg \cdot t^{-1}$	345.77	368.64	335.18	367.24	320.67	338.05	317.82	337.84	350.20
7	折综焦比/ $kg \cdot t^{-1}$	492.33	519.32	472.44	522.59	466.87	482.27	455.81	484.22	482.58
8	焦炭负荷/ $t \cdot t^{-1}$	4.753	4.690	4.878	4.856	4.796	4.724	4.777	4.741	4.611
9	冶炼强度/ $t \cdot (m^3 \cdot d)^{-1}$	0.833	0.852	0.795	0.792	0.763	0.796	0.767	0.761	0.802
10	综合冶强/ $t \cdot (m^3 \cdot d)^{-1}$	1.186	1.200	1.121	1.127	1.111	1.136	1.100	1.091	1.105
11	风量/ $m^3 \cdot min^{-1}$	1779	1790	1682	1718	1717	1713	1702	1623	1700
12	风温/ $^{\circ}C$	931	909	921	937	939	929	934	935	923
13	风 压	215	221	207	215	215	218	216	197	209
14	透 气 性	16.46	16.70	18.77	19.04	18.55	17.81	17.97	18.22	17.64
15	鼓 风 动 能	5634	5692	5535	6200	7430	5840	4915	5747	7107
16	[Si]/%	0.41	0.50	0.49	0.45	0.46	0.44	0.47	0.40	0.53
17	[S]/%	0.019	0.029	0.022	0.022	0.020	0.017	0.026	0.021	0.021
18	渣碱度(R)	1.105	1.127	1.124	1.108	1.140	1.147	1.198	1.158	1.166
19	综矿铁品位/%	59.17	59.67	59.52	59.17	59.19	58.67	58.65	58.75	59.20
20	熟料比/%	100	100	91.6	89.1	89.5	95.0	95.0	95.0	100
21	烧结矿碱度	1.76	1.77	1.79	1.91	2.01	2.03	2.04	2.01	1.97
22	烧结矿 FeO/%	9.00	8.38	8.90	8.94	8.05	8.54	8.93	8.56	10.24

### 8.3.2 利用系统优化分析图观察、总结高炉的生产优化规律

#### 8.3.2.1 主要控制参数的优化规律

这是通过【系统优化】模块中【系统优化分析图】的6幅图(见图3-22~图3-27)来科学总结提高利用系数与降低焦比的优化规律。这是样本点的聚类分布规律。它包括:

- (1) 在炉温[Si]—炉渣碱度(R)坐标下的利用系数等级聚类规律;
- (2) 在风量FQ与透气性指数FF坐标下的扇形区间配合规律;
- (3) 在焦炭负荷OPC—鼓风动能BE坐标下的基础炉温匹配规律;
- (4) 焦比与利用系数之间的非线性关联规律;
- (5) 利用系数随冶炼强度之间升高而提高的非线性相关规律;
- (6) 焦比随冶炼强度逐步升高而下降,然后随冶炼强度升高而升高的非线性关联规律。

#### 8.3.2.2 对炉温—渣碱度双因素协调控制的精细分析

这是应用【系统优化】中的【产量质量优化】模块来科学总结的相关规律。它是按照各炉的生产数据计算得到统计规律。它包括如下分布图、回归图:

- (1) 炉温控制现状分布图(图3-28)和炉温控制成效对比表(表8-4、表8-5);

表 8-4 炉温控制成效对比表

序号	项 目 名 称	7 月		8 月		9 月		3 季度	
	炉温[Si]	n	X	n	X	n	X	n	X
1	0.25~0.29	11	2.438	8	2.567	15	2.659	34	2.566
2	0.29~0.33	42	2.654	19	2.398	19	2.273	80	2.503
3	0.33~0.37	54	2.389	28	2.446	18	2.598	100	2.443
4	0.37~0.41	46	2.556	38	2.581	40	2.416	124	2.519
5	0.41~0.45	56	2.494	65	2.641	42	2.308	163	2.505
6	0.45~0.49	41	2.574	66	2.582	34	2.49	141	2.557
7	0.49~0.53	50	2.51	52	2.479	18	2.556	120	2.501
8	0.53~0.57	15	2.329	39	2.605	25	2.416	79	2.493
9	0.57~0.61	19	2.545	26	2.508	17	2.347	62	2.475
10	0.61~0.65	34	2.451	38	2.409	12	2.349	84	2.417
11	总 体	368	2.506	379	2.538	240	2.427	987	2.5



表 8-5 炉渣碱度控制成效对比表

序号	项目名称	7月		8月		9月		3季度	
	炉渣碱度	n	X	n	X	n	X	n	X
1	1.01~1.04	13	2.431	11	2.482	4	2.525	28	2.446
2	1.04~1.07	29	2.611	18	2.479	7	2.656	54	2.566
3	1.07~1.11	50	2.553	48	2.63	25	2.509	123	2.574
4	1.11~1.15	69	2.446	66	2.514	48	2.466	183	2.476
5	1.15~1.19	67	2.425	91	2.582	62	2.423	220	2.489
6	1.19~1.23	73	2.523	64	2.44	46	2.351	183	2.451
7	1.23~1.27	42	2.495	62	2.553	34	2.401	138	2.498
8	1.27~1.31	16	2.746	11	2.629	9	2.298	36	2.598
9	1.31~1.35	8	2.495	7	2.495	4	2.361	19	2.467
10	1.35~1.39	1	3.057	1	2.105	1	2.612	3	2.591
11	总 体	368	2.506	379	2.538	240	2.427	987	2.499

- (2) 利用系数均值分布图(图 3-30);
- (3) 利用系数与焦比的非线性负相关回归图(图 3-33);
- (4) 利用系数与冶强的回归关系图(图 3-34);
- (5) 利用系数与炉温[Si]的非线性关系回归图(图 3-35);
- (6) 利用系数与炉渣碱度的非线性关系回归图(图 3-36)。

从这些图表我们首先总结工长在炉温与渣碱度控制上的指导思想,即炉温与渣碱度的控制中线及其实际控制的离散程度,从而对工长操作控制能力有一个总体把握。并且进一步分析指标所达到的水平。这就是各折线回归图所反映的控制规律与各参数的最佳控制范围,如由图 3-35 确定利用系数最优的[Si]范围;由图 3-36 确定利用系数最优的(R)范围等。

### 8.3.2.3 产量-质量-消耗的多目标优化控制规律

- (1) 铁水质量[S]与炉温[Si]的非线性关系回归图(图 3-37);
- (2) 铁水质量[S]与炉渣碱度(R)的非线性关系回归图(图 3-38);
- (3) 炉渣碱度(R)与配料碱度 LZR 的回归关系图(图 3-39)。

在总结利用系数的优化规律后,需要注意铁水质量的控制,即[S]控制是否符合炼钢铁水的质量要求。从图 3-37 与图 3-38 中可以确定[S]随[Si]、(R)上升而非线性下降的规律和满足质量要求的控制界限。通过配料碱度与炉渣碱度的回归关系图 3-39,进而确定配料碱度的优化控制范围。

### 8.3.3 冶炼强度的系统优化

对冶炼强度的系统优化目的在于通过分析冶炼强度与焦比、冶炼强度与利用

系数的数量关系,以及焦比与利用系数、焦比与鼓风动能的数量关系,正确地、定量地确定出最低焦比时的冶炼强度。为了精细地对比冶炼强度的优化控制范围,采用了变频统计与等步长统计两种统计计算方法。

(1) 变频统计模型下确定最低焦比的冶炼强度(见图 3-42)。由变频统计得到的最低焦比下的冶炼强度控制范围,是通过对样本点的回归得到的。即通过对各个生产阶段的冶炼强度与焦比数量关系的回归分析,确定焦比“锅底曲线”的优化控制范围,如图 3-42。

(2) 等步长统计下的利用系数与冶炼强度的非线性关系(见图 3-43)。等步长统计是从每一炉的生产数据出发进行回归分析。得到的规律是总体上利用系数随冶炼强度的上升而提高。但是,在鼓风动能过高超过一定值时,利用系数反而有所下降。

这样,我们从变频统计与等步长统计两种模型都寻求了入炉焦比-利用系数-冶炼强度-鼓风动能之间的数量关系,并且相互验证,得到最低焦比的冶炼强度范围是 1.15~1.20。如果需要寻求继续降低焦比的途径,那么就需要通过工艺上的新措施,如提高风温,探索鼓风动能的最佳范围等。

## 8.4 原燃料条件变化下的对策优化

在分析高炉各个月份指标的变化中,必须考察烧结矿品位、球团矿品位以及入炉综合矿品位等项参数变化对高炉指标影响的显著性。如果数理统计差异显著性检验证明原燃料条件变化是显著的,那么我们就能够从中找出原燃料条件的优化方向,并且提出原燃料条件变化所需要的操作条件的对策优化。

### 8.4.1 烧结矿质量波动的时间序列图

原燃料质量波动中,用量大、影响大的主要矿种是烧结矿。对烧结矿以及其它矿种波动状况的考察调用时间序列图是最方便的。由图 3-47 的烧结矿时间序列图很容易得知:1)烧结矿各项参数的变化是平衡还是波动剧烈,原燃料质量的稳定性问题立即得到应有的结论;2)烧结矿质量波动的阶段性变化也可以由图 3-47 得到结论,从而分阶段地分析原燃料条件变化对指标带来的影响。例如,考察 1 个月烧结矿品位的波动,以某日为界前后品位明显差别;考察烧结矿碱度的波动却是以另外两个日期分界,构成一个月中烧结矿碱度的 3 个阶段波动。

### 8.4.2 两个时间段的烧结矿质量变动统计对比图

由上述时间序列图确定烧结矿质量发展的不同时间阶段后,进一步由统计对比图很快计算出不同时间段之间烧结矿参数的均值、均方差以及差异显著性检验值,进行数量化对比,得到肯定显著变化或否定显著变化的结论,为进一步优化提供依据,见图 3-58。

### 8.4.3 烧结矿质量变动的统计对比与差异显著性检验

表 8-6 是对某高炉 8 月份烧结矿数据的时间序列图、统计对比图分析计算得到的结果。从中看到,在 8 月份 3 个阶段的对比中,由于烧结品位与碱度参数都发生了显著性变化,带来操作的明显变化。其结果却是令人深思的:第 2 阶段虽然比第 1 阶段品位下降近 0.5%,碱度无显著变化,但是操作参数组合得好,结果得到利用系数提高,焦比下降 16kg 的好指标。并且,从图 3-47 也可以看到,第 2 阶段的烧结矿碱度也是相对比较稳定的,它为改善操作创造了有利条件。然而第 3 阶段与第 2 阶段相比,品位与碱度都发生显著变化,但操作参数组合不好,结果利用系数下降了 0.13,指标变差。

表 8-6 烧结矿质量波动统计对比与差异显著性检验

对比日期	8月1日~ 8月13日	8月14日~ 8月24日	显著性	8月14日~ 8月24日	8月25日~ 8月31日	显著性
烧结矿品位/%	58.66	58.17	8.20	58.17	57.38	13.76
烧结矿碱度	1.82	1.81	0.74	1.81	1.93	11.59
CaO/%	8.32	8.60	7.28	8.60	9.11	13.16
SiO <sub>2</sub> /%	4.58	4.75	8.97	4.75	4.73	0.79
利用系数/t·(m <sup>3</sup> ·d) <sup>-1</sup>	2.54	2.60	0.85	2.60	2.47	1.46
综合焦比/kg·t <sup>-1</sup>	505.6	489.8	0.99	489.8	487.7	0.09
综合冶强/t·(m <sup>3</sup> ·d) <sup>-1</sup>	1.20	1.21	2.02	1.21	1.12	4.24
[Si]/%	0.48	0.48		0.48	0.46	1.21
(R)	1.14	1.14		1.14	1.12	3.58
球团矿品位/%	62.52	62.32	1.26	62.32	62.53	1.20

由此可见,在原燃料条件波动下,如何根据成分的变动迅速调整变料方案,保持操作参数的优化组合,是改善高炉指标的技术关键,也是“智能控制专家系统”的重要功能。

## 8.5 关于用好“智能控制专家系统”的建议

### 8.5.1 关于技术分析与决策管理上的应用

以上通过“智能控制专家系统”的定量计算,我们从高炉生产实际数据出发,优选了冶炼过程关键的技术参数,分别确定了能够达到提高利用系数-降低焦比-确保铁水质量的冶炼强度优化范围;确定了炉温[Si]-炉渣碱度(R)的优化范围与优化组合;确定了送风参数(风量、透气性指数、鼓风动能)的优化控制要求;分析了原燃料质量特别是烧结矿品位与碱度等参数波动对指标的影响等方面,从而数量化地、精细地提出挖掘生产潜力的优化操作建议。这是从技术分析与决策管理角度

所进行的专家系统应用。

“智能控制专家系统”应用实践表明,这样的“优化分析报告与生产优化建议”随着专家系统应用的深入,需要进行多次,才能够达到1座高炉生产过程工艺参数的最优化,完善生产过程的智能化控制。特别是一些由于客观原因原燃料条件经常发生阶段性波动的高炉,更需要通过优化分析报告确定专家知识库在不同条件下的优化范围。因此,炼铁厂技术科应当通过“专家系统”的网络终端定期地运行“智能控制专家系统”,进行生产优化分析,为领导的管理优化决策与工长的优化操作提供科学依据。

#### 8.5.2 关于工长应用“专家系统”的技术培训

工长在线应用“智能控制专家系统”包含着数据库、设备诊断、炉况诊断、过程参数实时监控、炉温预测与智能控制、配料优化计算、作业管理报表统计等多方面的生产操作功能。只有工长在生产实践中熟练地进行人机会话,深入应用“专家系统”,专家系统的各项智能化功能才能够得到充分的发挥和不断完善。因此,需要加强工长作为炼铁专业人员在“专家系统”应用方面的技术培训,包括计算机使用知识、信息技术与炼铁工艺技术相结合、“专家系统”使用说明书等方面的技术培训。

#### 8.5.3 关于与“专家系统”应用配套的工艺措施

多座高炉的生产应用实践业已证明,应用“智能控制专家系统”后高炉都能够显著地改善各项技术经济指标。究其挖掘潜力的科学原理,简而言之主要包括3个组成部分:

(1) 来自“专家系统”对工艺的优化,即确定工艺参数的优化范围与优化组合,优化前后的结果大不相同;

(2) 来自“专家系统”的信息网络化与控制智能化,即网络信息技术带来快速的信息反馈与超前的预测控制,从而避免了故障苗头,保持高炉始终运行在优化状态下;

(3) 来自系统优化后的工艺措施。一项从炼铁工艺角度并不难的改变鼓风动能的措施,也许直接诱发高炉冶炼过程参数的系统优化成效。

通过以上措施,应用“智能控制专家系统”取得显著的技术经济成效则是必然结果。当然,这些成效是不同岗位的人员进行“智能控制专家系统”“三位一体”应用的结果。因此,为了取得“专家系统”应用的更多成效,不应忽略相应的工艺措施的重要作用。

## 参 考 文 献

- 1 周传典. 高炉炼铁生产技术手册. 北京:冶金工业出版社,2002
- 2 周传典. 周传典文集. 北京:冶金工业出版社,2001
- 3 周传典. 鞍钢炼铁技术的形成和发展. 北京:冶金工业出版社,1998
- 4 周传典. 建议与纪事. 北京:冶金工业出版社,1997
- 5 周传典,徐矩良,刘云彩等. 推荐高炉操作的第三代技术. 中国冶金报,1999.8.8
- 6 周传典,徐矩良,刘云彩等. 高炉操作的第三代技术. 炼铁,1999;18(5):53
- 7 国家冶金局规划发展司,中国金属学会,冶金科技发展中心. 冶金科技发展指南(2000~2005). 1999
- 8 马竹梧,邱建平,李江. 钢铁工业自动化. 炼铁卷. 北京:冶金工业出版社,2000
- 9 沈颐身,李保卫,吴懋林. 冶金传输原理基础. 北京:冶金工业出版社,2000
- 10 董一诚,全泰铨等. 高炉生产知识问答. 北京:冶金工业出版社,1997
- 11 肖兴国,谢蕴国. 冶金反应工程学基础. 北京:冶金工业出版社,1997
- 12 毕学工. 高炉过程数学模型及计算机控制. 北京:冶金工业出版社,1996
- 13 张玉柱. 高炉炼铁. 北京:冶金工业出版社,1995
- 14 罗吉教. 炼铁学. 北京:冶金工业出版社,1994
- 15 秦民生,杨天钧等. 炼铁过程的模拟与解析. 北京:冶金工业出版社,1991
- 16 成兰伯主编. 高炉炼铁工艺及计算. 北京:冶金工业出版社,1991
- 17 刘云彩. 高炉布料规律. 北京:冶金工业出版社,1984
- 18 徐矩良,刘琦. 高炉事故处理一百例. 北京:冶金工业出版社,1984
- 19 炼铁设计参考资料编写组. 炼铁设计参考资料. 北京:冶金工业出版社,1979
- 20 鞍钢炼铁厂. 大高炉炼铁生产. 北京:冶金工业出版社,1974
- 21 鞍钢炼铁厂等. 炼铁工艺计算手册. 北京:冶金工业出版社,1973
- 22 刘祥官. 大型复杂工业系统的建模与优化. 中国科学技术前沿(中国工程院版). 北京:高等教育出版社,2002
- 23 LiuXianguan, LiuFang. A Partial Differential Equations for The Temperature Control in a Blast Furnace. In: Li Daqian *et. al.*. Proceeding of the Sixth Conference of China Society for Industrial and Applied Mathematics. United Kingdom: Research Information Ltd, 2002: 63~67
- 24 朱学峰,陈伟基,黄道平. 过程控制科学技术与应用. 广州:华南理工大学出版社,2002
- 25 刘祥官,刘元和,罗登武等. 莱钢 750m<sup>3</sup> 高炉智能控制专家系统. 钢铁,2002;37(8):18~22
- 26 刘祥官,刘显著,吴晓峰等. 智能控制专家系统在莱钢高炉的应用. 冶金自动化,2002;26(6):15~18
- 27 于常友,陈伟基,黎志光. 自动化科学技术及应用. 北京:电子工业出版社,2001
- 28 王凌. 智能优化算法及其应用. 清华大学出版社,施普林格出版社,2001
- 29 刘祥官,高贤成等. 炼铁优化专家系统在济钢高炉的应用. 冶金自动化,2001;25(2):15~19
- 30 刘祥官,刘芳. 高炉过程优化与智能控制模型. 高校应用数学学报,2001;16(4):462~470

- 31 刘祥官,蔡漳平等. 炼铁优化专家系统在济钢1号高炉的应用. 钢铁, 2000; 35(增刊): 152~157; 2000年亚洲钢铁大会论文集
- 32 Liu Xiangguan, Cai Zhangping *et. al.* An Application of Ironmaking Optimization & Expert System of No. 1 BF at JIGANG Group Co. In: Chinese Society for Metals ASIA STEEL INTERNATIONAL CONFERENCE-2000 (ASIA STEEL' 2000), Beijing: Metallurgical Industry Press 2000; 229~235
- 33 Guo Lei, Huang Lin *et. al.* SOME RECENT ADVANCES OF AUTOMATIC CONTROL IN CHINA, PROCEEDINGS OF THE 14th WORLD CONGRESS International Federation of Automatic Control (in 18 volumes), INTERNATIONAL FEDERATION OF AUTOMATIC CONTROL, Beijing, P. R. China, 1999; 31~48
- 34 李人厚. 智能控制理论和方法. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999
- 35 刘祥官, 蔡漳平等. 济钢 350m<sup>3</sup> 高炉炼铁优化专家系统. 钢铁, 1999; 34(增刊): 154~158
- 36 刘祥官, 刘芳. 复杂生产系统的信息管理与过程优化决策. 中国管理科学, 1999; 7(专辑): 252~256
- 37 刘祥官, 刘芳. 统计优化在冶金工业中的应用. 数理统计与管理, 1999; 18(增刊): 104~108, 中国现场统计研究会第九届学术年会特邀报告
- 38 刘祥官, 陈凯, 孙红军等. 杭钢1号高炉计算机系统应用及效益. 钢铁, 1998; 33(1): 14~17
- 39 李士勇. 模糊控制. 神经控制和智能控制论, 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998
- 40 蔡自兴. 智能控制——基础与应用. 北京: 国防工业出版社, 1998
- 41 刘祥官, 林宪等. 高炉炉温预测专家系统的研究与应用. 见: 曾庆存等编: 中国工业与应用数学学会第五次大会论文集, 北京: 清华大学出版社, 1998; 356~360
- 42 Liu Xiangguan, Sun Hongjun *et. al.* Multivariate Statistical Modeling and Production Optimization for BF No. 1 at Hangzhou Iron & Steel (Group) Co. In: ARS. 3rd Conference on Statistical Computing of the Asian Regional Section of IASC. Philippines: IASC 1998
- 43 韦巍. 智能控制技术. 北京: 机械工业出版社, 1997
- 44 郭尚来. 随机控制. 北京: 清华大学出版社, 1997
- 45 刘祥官, 李吉鸾, 刘芳. 变频数理统计技术与冶金过程的非线性解析. 数理统计与管理, 1997; 16(增刊): 352~355
- 46 申铁龙. H<sub>∞</sub>控制理论及应用. 北京: 清华大学出版社, 1996
- 47 杨起帆, 陈凯, 刘祥官. 基于数据融合的高炉炼铁优化操作计算机系统. 见: 中国计算机学会编. 中国计算机科学技术新发展, 西南师范大学出版社, 1996; 179~183
- 48 刘祥官, 林宪等. 杭钢1号高炉计算机应用工程与杭钢模式. 见: 于常有编. 集散控制系统和可编程序控制器工业应用, 北京: 电子工业出版社, 1996
- 49 国家自然科学基金委员会. 自然科学学科发展战略调研报告——自动化科学与技术. 北京: 科学出版社, 1995
- 50 刘云影, 杨天钧等. 人工智能高炉冶炼专家系统的开发. 见: 冶金部科技司, 中国金属学会冶金自动化学会编. 钢铁工业自动化技术应用实践. 北京: 电子工业出版社, 1995
- 51 顾钟文等. 高级过程控制. 杭州: 浙江大学出版社, 1995
- 52 刘祥官, 林宪, 孙红军等. 杭钢1号高炉炼铁优化操作计算机系统. 见: 冶金部科技司, 中国

- 金属学会冶金自动化学会编. 钢铁工业自动化技术应用实践, 北京: 电子工业出版社, 1995
- 53 葛建华, 孙优贤. 容错控制系统的分析与综合. 杭州: 浙江大学出版社, 1994
- 54 刘祥官, 李吉鸾. 冶金生产过程的系统优化. 系统工程理论与实践, 1994; 14(6): 54~59
- 55 钟义信等. 智能理论与技术——人工智能与神经网络. 北京: 人民邮电出版社, 1992
- 56 刘祥官, 李吉鸾. 样本空间模型与高炉的优化操作. 信息与控制, 1998; 17(2): 36~42
- 57 刘祥官, 李吉鸾等. 计算机辅助高炉优化操作中的数学模型及软件. 优选与管理科学, 1987; 4(1): 13~17
- 58 刘祥官, 李吉鸾. 冶金工艺参数的系统优化方法及其应用. 中日管理现代化文萃. 长沙: 湖南人民出版社, 1982
- 59 谢季坚, 刘承平. 模糊数学方法及其应用, 武汉: 华中理工大学出版社, 2000
- 60 周明, 孙树栋. 遗传算法原理及应用. 北京: 国防工业出版社, 1999
- 61 钱敏平, 龚光鲁. 应用随机过程. 北京: 北京大学出版社, 1998
- 62 伍尤桂, 李元等. 应用时间序列分析. 桂林: 广西师范大学出版社, 1998
- 63 李明, P.M.B 威塔涅. 描述复杂性. 北京: 科学出版社, 1998
- 64 项静恬, 史久恩. 非线性系统中数据处理的统计方法. 北京: 科学出版社, 1997
- 65 张尧庭, 方开泰. 多元统计分析引论. 北京: 科学出版社, 1997
- 66 王世强. 模型论基础. 北京: 科学出版社, 1997
- 67 陈德钊. 多元数据处理. 北京: 化学工业出版社, 1997
- 68 焦李成. 神经网络计算. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1996
- 69 林鸿洲, 邹懿玉. 新编统计学原理. 北京: 高等教育出版社, 1996
- 70 陈魁. 试验设计与分析. 北京: 清华大学出版社, 1995
- 71 王万中, 菲诗松. 试验的设计与分析. 上海: 华东师范大学出版社, 1995
- 72 顾岚. 时间序列分析在经济中的应用. 北京: 科学出版社, 1994
- 73 张跃等. 模糊随机动力系统理论. 北京: 科学出版社, 1993
- 74 程极泰. 混沌的理论与应用. 上海: 上海科学技术文献出版社, 1992
- 75 项静恬, 史久恩, 杜金观等. 动态和静态数据处理. 北京: 气象出版社, 1991
- 76 卢侃等. 混沌动力学. 上海: 上海翻译出版公司, 1990
- 77 杨叔子, 吴雅等. 时间序列分析的工程应用. 武汉: 华中理工大学出版社, 1989
- 78 潘德惠. 数学模型的统计方法. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 1986
- 79 陈希甯, 王松桂. 近代实用回归分析. 南宁: 广西人民出版社, 1984
- 80 魏权龄等. 数学规划与优化设计. 北京: 国防工业出版社, 1984
- 81 胡世华等. 数理逻辑基础. 北京: 科学出版社, 1983
- 82 华罗庚. 优选学. 北京: 科学出版社, 1981
- 83 中国科学院数学所. 常用数理统计方法. 北京: 科学出版社, 1979
- 84 北京大学数学力学系. 正交设计法. 北京: 石油化学工业出版社, 1975
- 85 杨纪珂. 质量评估方法平话. 北京: 中国工业出版社, 1966
- 86 周华章. 工业技术应用数理统计学. 北京: 人民教育出版社, 1961
- 87 网页制作、网络编程系列编委会. Visual InterDev 6.0 Web 编程. 北京: 中国人民大学出版社, 2001

- 88 廖信彦. Active Server Pages 3 彻底研究. 北京:中国铁道出版社,2001
- 89 龚正伟,张璇,郝启堂. Photoshop 5.5 案例教程. 北京:机械工业出版社,2000
- 90 朱玉玺,阙志刚. Visual Basic 数据访问技术与原理. 北京:科学出版社,1999
- 91 郑人杰. 软件工程. 北京:清华大学出版社,1999
- 92 黄维通,汤荷美. SQL Server 实用简明教程. 北京:清华大学出版社,1999
- 93 袁鹏飞. SQL Server 7.0 数据库系统管理与应用开发. 北京:人民邮电出版社,1999
- 94 谷保山. Visual C++ 6.0 编程与实例. 北京:科学出版社,1999
- 95 刘臣勇,邓志鸿等. 精通 Delphi 4. X. 北京:清华大学出版社,1998
- 96 楼顺天,李博菡. 基于 MATLAB 的系统分析与设计. 西安:西安电子科技大学出版社,1998
- 97 施阳,李俊. MATLAB 语言工具箱. 西安:西北工业大学出版社,1998
- 98 楼顺天,于卫,阎华梁. MATLAB 程序设计语言. 西安:西安电子科技大学出版社,1997
- 99 王明华,王燕,戴有炜. NT Server 4.0 中文版实用指南. 北京:清华大学出版社,1997
- 100 魏克新,王云亮,陈志敏. MATLAB 语言与自动控制系统设计. 北京:机械工业出版社,1997
- 101 胡俭,丘宗明等. 精通 Visual C++ for Windows 95/NT. 北京:电子工业出版社,1997
- 102 金以文. C/C++ 与数据结构. 杭州:浙江大学出版社,1996
- 103 薛定宇. 控制系统计算机辅助设计. 北京:清华大学出版社,1996
- 104 陈功富,韩贤东. 计算机网设计与实现. 北京:人民邮电出版社,1995
- 105 蔡明志. Borland C++ 实用绘图设计. 北京:清华大学出版社,1993
- 106 陈进. C 语言程序设计技巧及其应用. 上海:上海科学普及出版社,1991
- 107 David S. Platt. 深入理解 COM+. 潘爱民译. 北京:清华大学出版社,2000
- 108 Jim Maloney. Visual C++ 6.0 ICOM 开发指南. 田雨等译. 北京:清华大学出版社,2000
- 109 Microsoft Corporation. 全面掌握 Microsoft Visual Basic 6.0 应用程序开发. 北京:清华大学出版社,2000
- 110 Drucken thaner H, Schurz B, Schaler M. VAiron 高炉优化软件包——专家系统. 钢铁, 2000; 35(8):13~17
- 111 David J. Kruglinski, Scot Wingo, et. al. Visual C++ 6.0 技术内幕(第五版). 北京:北京希望电子出版社,2000
- 112 B. 威德罗等. 自适应逆控制. 刘树棠等译. 西安:西安交通大学出版社,1999
- 113 Vic Broquard. MFC 应用开发教程. 汪泳等译. 北京:清华大学出版社,1999
- 114 微软公司. Microsoft SQL Server 7.0 实现数据库设计. 希望图书创作室,1999
- 115 Kallo S, Ahola T. 芬兰罗德洛基钢厂炼铁的发展. 钢铁, 1999; (增刊): 124~133
- 116 Clayton Johnson. Windows NT 注册表. 京京翻译组. 北京:机械工业出版社,1998
- 117 WILLIAM F. LUCAS 主编. 离散与系统模型. 长沙:国防科技大学出版社,1996
- 118 崔锦泰. 小波分析导论. 程正兴译. 西安:西安交通大学出版社,1995
- 119 Blake Watson. Delphi 入门及实例详解. 郝启堂等译. 北京:电子工业出版社,1995
- 120 新日本制铁. 新日铁における高炉用主要モデルの紹介. 计測と控制, 1987
- 121 G. 尼科里斯等. 探索复杂性. 陈奎宁等译. 成都:四川教育出版社,1986



- 
- 122 岩村忠昭, フロセスの状況の分类, 计測と控制, 1985
- 123 J. C. 庞特里雅金等, 最佳过程的数学理论, 陈祖浩等译, 上海: 上海科学技术出版社, 1983
- 124 M. 阿佛利耳, 非线性规划——分析与方法, 李元熹等译, 上海: 上海科学技术出版社, 1982
- 125 Peters, Maybeck, Stochastic Models, Estimation and Control. New York: Academic Press, Inc. Ltd, 1982
- 126 Bryson A. E., Ho Y. C. 应用最优控制——最优化、估计、控制, 钱洁文等译, 北京: 国防工业出版社, 1982
- 127 糠岩, 森山昭, 冶金反应工程学, 蔡志鹏, 谢裕生译, 北京: 科学出版社, 1981
- 128 Besant, C B. Computer Aided Design and Manufacture. Ellishor Woodlimited, 1980
- 129 Noton, M. 现代控制理论, 杨志坚等译, 北京: 科学出版社, 1979
- 130 长田正, 长谷川健介等, 自动控制理论, 张洪敏译, 北京: 国防工业出版社, 1979
- 131 B. L. 阿姆斯特, 可靠性数学, 北京: 科学出版社, 1978
- 132 Kawasaki Steel. Go-Stop System Applied to Blast Furnace. Ironmaking Proceeding, 1977
- 133 J. S. 贝达特, A. G. 皮尔索, 随机数据分析方法, 凌福根译, 北京: 国防工业出版社, 1976
- 134 Juliust. Tou, Rafaelc. Gonzalez. Pattern Recognition Principles. Addison-Wesley Publishing Company, 1974
- 135 Julian Szekely. Blast Furnace Technology: science and practice New York: MARCEL DEKKER INC. 1972